

Aus dem Institut für Arbeitsmedizin  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Arbeitsmedizinische Analyse der gesundheitlichen Gefährdung  
von Funkern unter besonderer Berücksichtigung der  
otologischen Belastung

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Tariq Plöger

aus Schötmar

Gutachter: 1. Prof. Dr. med. D. Groneberg  
2. Prof. Dr. med. A. Buchter  
3. Priv.-Doz. Dr. med. B. Mazurek

Datum der Promotion: 19.09.2008

Meiner Frau  
und  
meinen Eltern gewidmet

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>7</b>
1.1	Grundlagen der Funktechnik.....	7
1.2	Entwicklung der Funktechnik.....	7
1.3	Funkanwendung in der Bundeswehr und deren arbeitsmedizinische Problematik.....	9
1.4	Anatomie und Physiologie des Hörens.....	10
1.5	Lärm.....	13
1.6	Entstehungsmechanismus und Innenohrpathologie der Lärmschwerhörigkeit.....	14
1.7	Klinik und Befunde.....	15
1.8	Zielsetzung.....	19
<b>2</b>	<b>Probanden und Methodik.....</b>	<b>20</b>
2.1	Probandenkollektiv.....	20
2.2	Datengewinnung.....	23
2.3	Gefährdungsbeurteilung.....	24
2.4	Arbeitsplatzbeschreibung.....	25
2.4.1	Arbeitszeiten.....	25
2.4.2	Räumlichkeiten.....	26
2.4.3	Arbeitsplatz und Tätigkeit.....	27
2.5	Die Reintonaudiometrie.....	29
2.5.1	Vergleichsdaten.....	31
2.6	Schallpegelmessungen.....	32
2.6.1	Schallpegelmessung im Raum.....	33
2.6.2	Schallpegelmessungen mit Kopfhörer.....	34
2.6.2.1	Schallpegelmessung Tastfunk mit Kopfhörer.....	35
2.6.2.2	Schallpegelmessung Sprechfunk mit Kopfhörer.....	35
2.7	Sonstige Belastung.....	36
2.8	Statistische Methode.....	36

<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>37</b>
3.1	Allgemeine Merkmale des Funkdienstes.....	37
3.2	Personal.....	37
3.3	Räumlichkeiten.....	39
3.4	Arbeitsplätze.....	41
3.4.1	Subjektive Belastungsbeurteilung des Dienstbetriebes.....	43
3.4.2	Subjektive Belastungsbeurteilung des Kopfhörertragens.....	44
3.4.3	Subjektive Belastungsbeurteilung Sprech-/Tastfunk.....	45
3.5	Schalldruckpegelmessung.....	45
3.5.1	Ergebnisse Schalldruckpegelmessung frei im Raum.....	46
3.5.2	Ergebnisse Schalldruckpegelmessung am Arbeitsplatz.....	48
3.6	Schalldruckpegelmessungen mit Kunstkopf.....	50
3.6.1	Schalldruckpegelmessung mit Kunstkopf, Sprechfunk.....	50
3.6.2	Schalldruckpegelmessung mit Kunstkopf, Tastfunk.....	52
3.6.3	Frequenzspektrumanalyse Kunstkopfmessungen.....	54
3.7	Otologische und audiometrische Ergebnisse.....	55
3.7.1	Analyse der Hörkurvenveränderungen.....	57
3.8	Sonstige Belastungsquellen.....	61
<b>4</b>	<b>Diskussion und Schlussfolgerungen.....</b>	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>76</b>
<b>7</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>86</b>
<b>8</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>87</b>
<b>9</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>88</b>
<b>10</b>	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>89</b>

<b>11</b>	<b>Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit.....</b>	<b>91</b>
-----------	---	-----------

## **1 Einleitung**

### **1.1 Grundlagen der Funktechnik**

Funk steht als Kurzform für drahtlose Übertragungstechniken mithilfe von elektromagnetischen Wellen, in diesem Falle den so genannten Radiowellen. Der Ausdruck „Funk“ leitet sich ab von dem Funken und entstand in der Entwicklungsphase der drahtlosen Telegrafie, als die verwendeten Sendeapparate noch Funken erzeugten. Der Funkverkehr findet auf Kanälen oder Frequenzen statt, die beide Endgeräte, der Sender und Empfänger, eingestellt haben müssen. Andernfalls ist bei der Signalverarbeitung kein Funkverkehr möglich, hierfür werden im Allgemeinen die Frequenzen 9 kHz bis 300 GHz benutzt. Im engeren Sinne ist im heutigen üblichen Sprachgebrauch mit Funk jedoch der Sprech- und seltener der Tastfunk gemeint. Die Anwendung in dieser Form ist vielfältig und hat seine Verbreitung in nahezu alle zivilen und militärischen Bereiche der modernen Gesellschaft gefunden.

Funk wird in verschiedenen Formen genutzt, so erfolgt z. B. jede drahtlose TV- oder Radioübertragung per Funk. Funkstrahlen können als Leitstrahlen in der Navigation oder sogar in der Medizin zur Therapie in Form von Energieträgern zur Gewebemanipulation genutzt werden. Das hier Genannte stellt nur einen Ausschnitt aus dem breiten Spektrum der Anwendung von Funktechnik dar.

### **1.2 Entwicklung der Funktechnik**

Die drahtlose Übermittlung von Informationen war einer der Meilensteine der technischen Entwicklung und revolutionierte deren weiteren Verlauf. Die Entwicklung hierzu nahm im vorletzten Jahrhundert seinen Anfang. Der Pionier auf diesem Gebiet war Guglielmo Marconi, der 1896 die ersten gebrauchstauglichen Tastfunkgeräte entwickelte und patentieren ließ, die nach heutiger Vorstellung durchaus als Funkgeräte bezeichnet werden können. In den folgenden Jahren breitete sich die neue Technik rasch aus und fand Verwendung im zivilen wie bald auch militärischen Bereich.

Mit der vielfältigen Nutzung der Geräte zeigt sich aber auch, dass eine Belastung der Bediener unter Umständen in Form von unangenehmen Lautstärken auftrat. Jedoch

fand dieser Umstand kaum Beachtung, da Lärm- und Arbeitsschutz praktisch bedeutungslos waren. Im zivilen Bereich waren im Zeitalter der gerade angebrochenen Industrialisierung andere Werte wie Ausbau und Stärkung der wirtschaftlichen Leistung von höchster Priorität. Im militärischen Bereich wurde an erster Stelle die Dominanz und militärische Überlegenheit gegenüber anderen Nationen zu fast jedem Preis angestrebt. Trotzdem wurde jedoch schon laut Deutscher Wehrordnung vom 22. November 1888 die Beurteilung der Rekruten hinsichtlich etwaiger „Ohrenerkrankungen“ durchgeführt (Steurer, 1950).

Grundsätzlich war die unter Umständen schädigende Wirkung von Lärm schon früh bekannt (Jürgens, 2001, Rüdi, 1957, Orembowski, 1926). Bereits 1700 beschrieb Bernado Ramazzini (Ramazzini, 1998) in seiner Abhandlung „Die Krankheiten der Kupferschmiede“ eine Taubheit nach langem Berufsleben in der Schmiede.

Wörtlich ist in den historischen Schriften festgehalten: „Durch diesen dauernden Lärm werden natürlich vor allem die Ohren und der ganze Kopf geschädigt, so dass diese Handwerker bei einer solchen Beschäftigung schwerhörig und im Alter völlig taub werden. Durch das unaufhörliche Geklopfe verliert das Trommelfell offenbar seinen normalen Tonus. Dann prallt der Schall im Ohr lateral ab, erschüttert das ganze Gehörorgan und richtet es zugrunde.“

Ogleich sich im Laufe der Zeit natürlich eine andere Sicht der anatomisch-pathologischen Verhältnisse herausgebildet hat, so ist es Ramazzini gewesen, der den Zusammenhang zwischen Lärm und Hörverlust bzw. Gehörschädigung erkannt hat.

Im Rahmen des Fortschritts der Forschung wird beschrieben (Dieroff, 1942), dass die ersten wissenschaftlichen Erkenntnisse der Lärmschwerhörigkeit auf den Engländer Toynbee im Jahre 1860 zurückgehen, und dass etwa 30 Jahre später der deutsche Otologe Habermann sehr ausführlich das histologische Bild der Lärmschädigung erklärt (Habermann, 1890).

Der weitere Verlauf zeigt, dass die Anwendung der Funktechnik im militärischen Bereich unerlässlich wurde und in der richtigen Anwendung einen deutlichen Vorsprung in der Rüstung gegenüber anderen Staaten oder Armeen erzielen kann. Somit ist die militärische, drahtlose Funkkommunikation heute ein weltweit etabliertes und unter strategisch-taktischen Gesichtspunkten unverzichtbares technisches Verfahren, dass auch in der Bundeswehr seit deren Gründung vielfältigst angewendet wird.



### **1.3 Funkanwendung in der Bundeswehr und deren arbeitsmedizinische Problematik**

Mit der Gründung der Bundeswehr im Jahre 1955 nahm auch die Gewichtung des Arbeitsschutzes zu. Dies geschah, wenn auch verzögert, parallel zum Ausbau des Arbeitsschutzes im zivilen Bereich. Auch in Friedenszeiten standen militärische Aufträge im Vordergrund, jedoch war klar, dass im Rahmen einer allgemeinen Wehrpflicht die körperliche Beeinträchtigung oder gar Schädigung der Soldaten auf ein Minimum gesenkt werden musste. Sehr bald wurde die Thematik aufgegriffen und es erfolgte eine wissenschaftliche Auseinandersetzung und Vertiefung der Problematik (Stengel, 1958). Somit konnte der im zivilen Bereich sich immer rascher entwickelnde Arbeitsschutz nicht mehr ignoriert werden und wurde auf den militärischen Bereich übertragen. Die Vorschriftenlage der Bundeswehr trug dieser Tatsache frühzeitig Rechnung, indem Gehörschutz zur Pflicht erklärt wurde.

Trotzdem erfolgte die Umsetzung der Vorschriften des persönlichen Lärmschutzes in die Praxis bei der Bundeswehr zunächst nur sehr zögerlich und wurde bis in die 60er Jahre hinein teilweise sogar unter den Soldaten als ein Zeichen von persönlicher Schwäche angesehen. Allerdings konnte sich der Lärmschutz allmählich durchsetzen und schließlich waren die lärmbelasteten Bereiche und Tätigkeiten im Hinblick auf die beschriebene Problematik suffizient abgedeckt (Ministeriumsblatt des BMVG, 1984) und dem Präventionsauftrag wurde Folge geleistet (Pfander, 1994, VDI-Richtlinien 2560, Pilgramm, 1983). Dabei stellte sich die Frage nach lärmexponierten Bereichen und Arbeitsplätzen in der Bundeswehr.

Die typischen und seit Langem bekannten militärischen lärmexponierten Bereiche sind diejenigen, in denen geschossen wird oder Lärm, der durch den Betrieb von Maschinen oder Fahrzeugen unterschiedlichster Art oder sogar dienstlicher Musik (Pfander, 1985, Staloff, 1995) erzeugt wird. Die Maschinen, Fahrzeuge und Instrumente ähnelten dabei teilweise denen, die auch zivil Verwendung finden. Eine nennenswerte besondere Anpassung der Lärmschutzvorschriften auf militärische Besonderheiten musste bis auf den Schießlärm also nicht stattfinden, man konnte die Vorlagen und Schutzvorschriften aus dem zivilen, arbeitsmedizinischen Bereich zu Rate ziehen. Die Kontrollen und arbeitsmedizinischen Untersuchungen orientierten sich sogar streng an Bestimmungen,

die ihre Geltung im Zivilbereich fanden (Berufsgenossenschaftliche Grundsätze G 20 Lärm, 1981).

Als problematisch stellte sich aber mit der Zeit heraus, dass ganze Arbeitsbereiche nicht berücksichtigt wurden, weil sie bei der ersten Betrachtung nicht unter die typischen Lärm Arbeitsplätze fielen oder die Eigenart ihrer Belastung nicht als gefährlich betrachtet wurde.

Zu diesen Bereichen zählt der Arbeitsplatz des Funkers, den man in den unterschiedlichsten Aufgabenbereichen der Bundeswehr findet. Der Begriff des Funkers ist hierbei grob gefasst und muss genauer betrachtet werden. Schließlich wird Funk als Zusatz Tätigkeit z. B. als Fahrzeug- oder Luftfahrzeugführer benutzt oder aber auch als Haupttätigkeit, die ausschließlich aus dem Versenden und Empfangen von Tast- und Sprechfunk oder gar beiden besteht.

#### **1.4 Anatomie und Physiologie des Hörens**

Die anatomischen Strukturen, die sich an der Aufnahme und Verarbeitung des Schalls beteiligen, sind von sehr unterschiedlicher Art und Struktur. Anatomisch-topografisch werden diese in Außen-, Mittel- und Innenohr sowie in die zugehörigen Nervenbahnen eingeteilt (Eyshold, 1990). Für die Erklärung der Lärmschädigung ist im Wesentlichen das Innenohr heranzuziehen, jedoch soll der Weg des Schalls bis dahin kurz skizziert werden.

Als Außenohr ist die Ohrmuschel zu benennen, das Mittelohr ist der Bereich des Ohres zwischen Trommelfell und Stapesfußplatte und das Innenohr schließlich die Cochlea und das Labyrinth, die sich im Anschluss an die Fußplatte finden. Nach dem Auftreffen des Schalls auf die Ohrmuschel erfährt dieser eine Reflexion durch dieselbe und wird hierbei wie durch einen Schalltrichter auf den Gehörgangseingang fokussiert. Nachdem die Schallwellenfront den Gehörgang durchwandert hat, wird das Trommelfell in Schwingung versetzt und gibt diese Bewegungsenergie an die Gehörknöchelchen ab, die wiederum über die Steigbügelplatte die Perilymphe in der Cochlea in Bewegung setzt (Fleischer, 2000, Hellbrück, 1993). Bis zu diesem Schritt handelt es sich um reine Bewegungsenergie, die über verschiedene Medien transportiert wird.

Um den Schalldruck an die wechselnde spezifische Dichte von Luft zur Flüssigkeit zu adaptieren, erfolgt zuvor durch das unterschiedliche Größenverhältnis zwischen

Trommelfell und Steigbügelplatte eine Schalldrucktransformation von 1:22 (Lippert, 1990) im Verlauf der Gehörknöchelchenkette, hierbei handelt es sich um eine einfache mechanische Übersetzung.

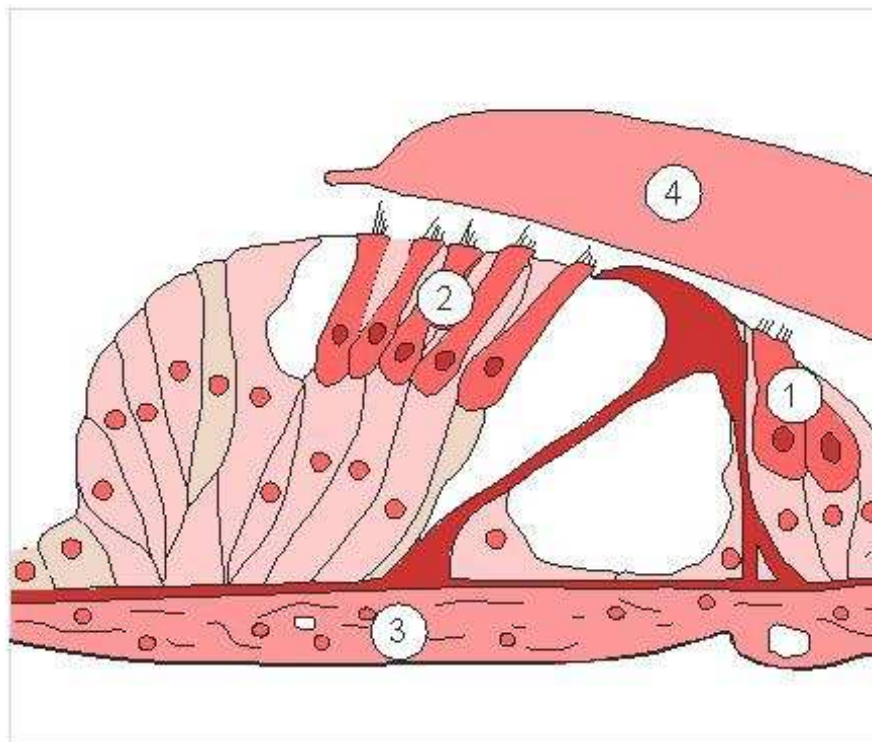
Im Innenohr findet ein Wechsel des Informationstransportes statt. Im Bereich der Cochlea wird durch die Auslenkung der Fußplatte eine Volumenverschiebung der Perilymphe erzeugt, die wiederum die Basilarmembran auslenkt. Diese Auslenkung setzt sich als Wanderwelle fort (Boenninghaus, 2005, Zenner, 1997) und erreicht an definierter Stelle ihre maximalen Amplitude. An der Stelle der höchsten Auslenkung entfalten sich Scherkräfte, die die ca. 16000 Sinnes- oder Haarzellen im Cortischen Organ tangential verschieben. Hierdurch werden Nerveneinzelzellentladungen provoziert, die schließlich den Beginn des elektrischen Informationstransportes darstellen. Somit hat eine Umsetzung von mechanischer Energie in elektrische Energie stattgefunden. Dieser Vorgang wird als mechanoelektrische Transduktion bezeichnet. Die weitere Fortleitung der elektrischen Impulse findet über die am Ganglion spirale beginnenden Nervenbahnen statt, die in Richtung der zentralen Hörbahn ziehen (Duus, 1990). Jedoch ist dieser Abschnitt der Hörverarbeitung für die Erklärung der Lärmschädigung nicht von wesentlicher Bedeutung, weswegen hier nicht weiter darauf eingegangen wird. Das Cortiorgan muss für das weitere Verständnis des Hörvorgangs genauer betrachtet werden.

Die Cochlea besteht neben der Scala vestibuli und der Scala tympani aus der spiralg aufgerollten Basilarmembran, die flexibel gebaut ist und die Bewegungsenergie der Perilymphe aufnimmt. Zwischen der Scala vestibuli und der Scala tympani befindet sich auf der Basilarmembran tunnelartig angeordnet wiederum das Cortiorgan, welches von der Corti- oder Endolymphe umspült wird. Es besteht aus einer Dreierreihe äußerer Haarzellen und einer weiter innen liegenden Einzelreihe Haarzellen.

Überdeckt ist diese Anordnung von der Tectorialmembran, die fest mit den apikalen Zilien der äußeren Haarzellen verbunden ist, aber trotzdem eine in sich flexibel gestaltete Funktionseinheit darstellt (Abb. 1).

Im Falle einer auftreffenden Wanderwelle wird die Basilarmembran abgelenkt und relativ zur Tectorialmembran verschoben. Diese Verschiebung oder Abscherung findet vor allem an den Haarzellen statt, wobei dann an den Zellen der innenliegenden Reihe die beschriebene spezifische Reizauslösung stattfindet. Es werden passager Ionenkanäle geöffnet, die einen Einstrom von Kaliumionen aus der Endolymphe entlang des Konzentrationsgradienten verursachen. Dies führt wiederum zu einer

Membrandepolarisation mit einem nachfolgenden Einstrom von Kalziumionen aus der Cortilymphe. Die Folge ist eine Entleerung von Transmittervesikeln in den synaptischen Spalt, dem sich der Aufbau eines postsynaptischen Generatorpotenzials anschließt. Die äußeren Haarzellen haben hingegen neben der Fähigkeit zur Umwandlung von Sinnesinformationen auch motorische Fähigkeiten dank ihres Aktinfilamentskelettes. Dies verleiht ihnen die Möglichkeit, auf Beschallung mit Kontraktion zu reagieren. Im Ergebnis besteht dadurch die Möglichkeit, die Wanderwelle zu verstärken und benachbarte Basilarmembranabschnitte zu dämpfen (Boenninghaus und Lenarz, 2005). Ein weiterer wesentlicher Punkt zum Verständnis des Hörprozesses und der Pathologie ist die räumliche Trennung nach Frequenzen, die Dispersion. Sie besagt, dass die Wanderwelle ihr Amplitudenmaximum an einem bestimmten, frequenzabhängigen Ort der Cochlea hat. Hohe Frequenzen haben ihre typische Lokalisation im Bereich der basalen Windungen und tiefe Frequenzen hingegen apikal.



1: Innere Haarzellen, 2: Äußere Haarzellen, 3: Basilarmembran, 4: Tectorialmembran

**Abbildung 1: Schematische Darstellung des Cortiorgans**

## 1.5 Lärm

Lärm ist zunächst eine subjektive Bezeichnung der Qualität des Schalls, die in der Regel eine unterschiedliche Menge nicht harmonischer Töne beschreibt. Dieser kann unangenehm sein, aber nicht laut wie z. B. ein Wassertropfen oder aber unangenehm und laut und somit störend wie Straßenlärm, oder ein aus nächster Nähe gehörtes, startendes Düsenflugzeug, dem Inbegriff von Lärm. Die Einteilung richtet sich also nach schall- oder personenabhängigen Faktoren. Schallabhängige Faktoren wären zum Beispiel Lautstärke, Frequenz und Impulshaltigkeit, zu den personenabhängigen Faktoren werden hingegen individuelle Geräuschempfindlichkeit, die Interferenz mit beabsichtigten Tätigkeiten und die persönliche Einstellung zur Schallquelle gerechnet. Unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Lärms auf den Organismus muss deshalb zwischen diesen beiden Faktoren unterschieden werden.

Lästiger Lärm erzeugt zwar keine Schädigung des Gehörs, aber sehr wohl werden psychische oder physische Reaktionen ausgelöst (Mannien, 1979).

Eine andere Darstellung zeigt sich bei der Lärmmanifestation im Ohr, die von der Dauer, dem Schalldruck und dem Impulscharakter abhängige Folgen nach sich zieht. Als wesentlicher Messwert hat sich hierbei, da auch am besten darstellbar, der Schallpegel etabliert.

Die Maßeinheit hierfür ist das Dezibel, in der Kurzform dB genannt, mit welchem die Dämpfung oder Verstärkung des Schalldrucks angegeben wird. Hierbei kommt es aber nicht zur Darstellung eines absoluten Wertes, sondern zur Beschreibung des Schalldrucks, der in Bezug zu einem anderen Bezugsschalldruck gesetzt wird. Als Bezugsschalldruck ist die Hörschwelle des menschlichen Ohres bei 1 kHz definiert. Das Ergebnis wird logarithmiert, woraus sich ein Bereich von 0 dB (Hörschwelle) bis 100 dB (Schmerzschwelle) und mehr ergibt. Die Hörschwelle bei 0 dB als Nulllinie ist in Bezug zur Normalbevölkerung gesetzt und bildet die durchschnittliche Hörschwelle ab (Lenhardt und Laszig, 2001). Somit erklärt sich, warum auch Messungen von negativen dB-Werten möglich sind.

Die mathematische Darstellung des Schalldruckpegels errechnet sich damit folgendermaßen:

$$L \text{ (dB)} = 20 \cdot \log p/p_0$$

wobei  $p_0$  der kleinste wahrnehmbare Schalldruck ist.

Da das menschliche Ohr tiefe Töne sehr viel schlechter und sehr hohe Töne etwas schlechter als die mittleren Frequenzen wahrnimmt, wird dieser Tatsache durch die Verwendung von elektronischen Filtern Rechnung getragen. In der Lautstärkemessung wird deswegen als gehörrichtiges Lautheitsmaß der A-Filter verwendet. In der Schreibweise findet sich der jeweilige Filter dann als Zusatz, zum Beispiel dB(A) oder dB(C) (Zenner et al. 1999).

Schädigende Lärmobergrenzen sind mittlerweile seit Jahren definiert und besitzen durch die Vorgaben und Veröffentlichungen verschiedener Institutionen inzwischen bindenden Charakter (Arbeitsschutzgesetz 2007, Verordnung zur Umsetzung der EG-Richtlinien, 2007). Unter anderem hat der Verein Deutscher Ingenieure diese Grenze bei einem Beurteilungspegel, d. h. einem Durchschnittswert von 85 dB(A) festgelegt (VDI Richtlinien 2058, 1988) und auch die Bundeswehr hat diese Parameter in ihr Vorschriften- und Regelwerk übernommen (VMBL Nr. 8, 1993).

## **1.6 Entstehungsmechanismus und Innenohrpathologie der Lärmschwerhörigkeit**

Die in ihrer Ausprägung schwächste Schallauswirkung ist die passagere Hörschwellenabwanderung, d. h. Absenkung in einem umschriebenen Frequenzbereich, auch TTS (temporary treshold shift) genannt. Ihr liegt eine Überbeanspruchung der äußeren Haarzellen zu Grunde, die bei Belastungen von mehr als 80 dB(A) eintritt. Hierfür sind Permeabilitätsstörungen im Bereich der Membranen der äußeren Haarzellen anzuschuldigen, die eine Repolarisation der Zelle unmöglich machen, dadurch können die eingetretenen Kaliumionen nicht wieder aktiv nach extrazellulär gebracht werden. Die folgende metabolische Überlastung bedeutet einen Sauerstoffmangel und Entleerung der ATP-Speicher des endoplasmatischen Reticulums. Es findet eine Degeneration der äußeren Haarzellen statt, die reihenweise von außen nach innen abläuft (Dancer, 1980, Hunter-Duvar, Suzuki, Mount, 1982). Die inneren Haarzellen hingegen bleiben bis auf den Ausnahmefall von sehr hohen Schallpegeln meist

erhalten. Je nach Länge, Intensität, Häufigkeit und Dauer der Erholungszeit nach Exposition ist dieser temporäre Hörverlust komplett regenerationsfähig.

Sind die zuletzt genannten Faktoren zu lang bzw. die Erholungszeit zu kurz, um die Energiedefizite der Zelle zu beseitigen oder die Intensität des Schalldruckes zu hoch, tritt die dauerhafte Schallschwellenabwanderung, die PTS (permanent treshold shift), ein. Sie folgt in ihrem Frequenzmuster dem gleichen Abschnitt des von dem TTS betroffenen Innenohrbereiches. Neben den zuvor aufgezeigten pathophysiologischen Abläufen treten bei mikroskopischer Betrachtung erkennbare Zeichen des Zelluntergangs wie Zell- und Zellkernschwellung, vermehrte Apoptosen und Ausdünnung der basolateralen Zellmembran (Bohne, Harding, Lee, 2007) hinzu.

Im Falle von außerordentlich hohen, ohrnahen Lärmimpulsen von mehr als 130 dB (A), z. B. durch Explosionen, kommt es zu direkten mechanischen Schädigungen der Mittel- und Innenohrstrukturen. Der Haarzellverband kann abheben und reißen, Mikroeinblutungen können stattfinden und in der Reißner Membran können sich Risse bilden. In der Konsequenz kommt es zu einer Störung des Diffusionsgefälles zwischen Endo- und Perilymphe, das für den Funktionserhalt der Sinneszellen jedoch unverzichtbar ist (Konietzko und Dupuis, 1989).

Bemerkenswert ist, dass die Manifestation des stärksten Hörverlustes fast ausschließlich im Frequenzband um 4 kHz, der so genannten C5-Senke, stattfindet (Bouccara, Ferrary, Sterkers, 2006, Meyer zu Gottesberg, 1960). Die Ursache hierfür ist noch nicht restlos geklärt, vermutet wird unter anderem ein massiver Sauerstoff und Energie verzehrender Prozess, der sein Maximum an dieser Stelle der Cochlea entfaltet, oder auch, dass die Wanderwelle an diesem Punkt durch Schwingungsüberlagerungen eine starke Basilarmembranauslenkung erzeugt. Eine weitere Folge kann die Möglichkeit sein, dass sich die Mittelohrmuskeln, die eine gewisse Schalldämpfung ausüben können, nachweislich ab 3 kHz in ihrer Wirksamkeit immer schwächer ausprägen (Spreng, 1982).

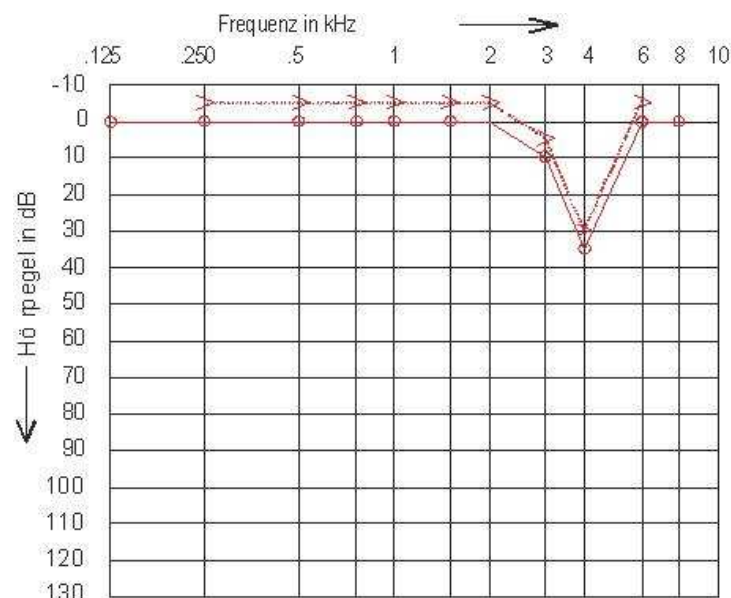
## **1.7 Klinik und Befunde**

Zu Anfang der Lärmschädigung des Innenohres zeigt sich im Audiogramm eine Hochtonsenke im Bereich um 4 kHz oder höher. Diese Senke kann unterschiedlich breit

ausgeprägt sein bis hin zum Übergang in eine Mulde. Ihr Tiefpunkt kann zwischen 3000 und 6000 Hz variieren.

Durchaus kann sich ein begleitender Tinnitus einstellen, der jedoch fast immer im Bereich von 1 kHz oder höher festzustellen ist. Selten kann auch ein tieffrequenter Tinnitus vorliegen (Negri und Schorn, 1991).

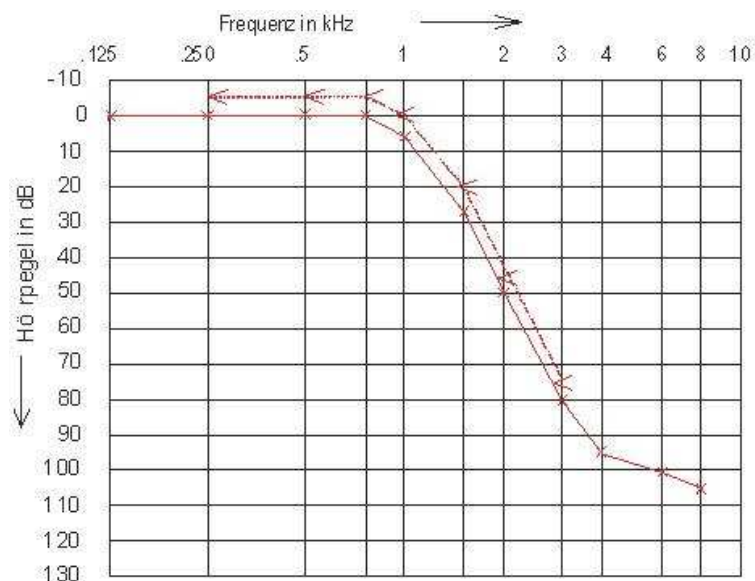
Dieser bleibenden Schädigung geht eine rückbildungsfähige Hörschwellenabwanderung, auch TTS genannt, voraus. Voraussetzung der Rückbildungsfähigkeit ist eine ausreichend lange, lärmfreie Erholungsphase und eine nicht zu intensive Expositionszeit und Pegelhöhe.



**Abbildung 2: Darstellung einer Innenohrhochtonsenke**

Werden die vorgenannten Faktoren nicht berücksichtigt, schreitet die Innenohrschädigung weiter fort. Die Hörschwellenabwanderung erhält einen dauerhaften Charakter, die Hochtonsenke im Audiogramm vertieft sich (Abb. 2) und flacht ab, bis schließlich das Bild eines Hochtonabfalls dargestellt wird (Abb. 3).





**Abbildung 3: Darstellung eines Innenohrhohtonabfalls**

Ein bestehender Tinnitus kann sich mittlerweile dauerhaft manifestiert haben, ist jedoch nicht obligat.

Die Hörschädigung selbst wird von dem Betroffenen zunächst nicht bemerkt, aber spätestens bei der Zunahme der Hörverlustkurve hin zum Schrägabfall sind im täglichen Umgang der Verlust der Konsonantenperzeption und Probleme beim Verstehen von Flüstersprache offensichtlich (Niemeyer, 1998). Hinzu gesellt sich der fehlende Lautheitsausgleich, der eine Übertönung der für die Satzverständlichkeit notwendigen Konsonanten durch die Vokale verursacht (Jatho, 1957).

Der Patient selbst nimmt diese Schädigung zunächst nicht wahr, sondern wird erst durch seine Kommunikationspartner darauf aufmerksam gemacht. Häufiges Nachfragen oder das Lauterregeln des Fernsehers sind typische Verhaltensweisen. Schließlich kann er Gesprächen im Störgeräusch, wie zum Beispiel auf Partys oder im Gruppengespräch, nicht mehr folgen. Das Nachfragen ist ihm unangenehm und zur Kompensation werden an ihn gerichtete Fragen bejaht. Da diese Antwort natürlich nicht immer passt, ist Unverständnis des Kommunikationspartners häufig die Reaktion. Um in

Zukunft solche Situationen zu vermeiden, zieht sich der Hörgeschädigte zurück und gerät in eine gewisse soziale Isolation. Neben diesen unmittelbaren audiologischen Befunden und Symptomen manifestieren sich gelegentlich, natürlich je nach individueller Disposition, auch allgemeine Beschwerden.

Die betroffenen Personen, die dem Stressor Lärm ausgesetzt sind, können aggressiv oder lustlos werden und unter Schlaflosigkeit leiden. Durch einen erhöhten Sympathikotonus bedingt können vegetative Symptome wie arterielle Hypertonie (Cuesdean et al. 1977), erhöhte Hautdurchblutung oder Schweißsekretion und Somatisierungen im Magen-Darm-Trakt hinzutreten (Piekarski und Zerlett, 1991).

## 1.8 Zielsetzung

Obschon Untersuchungen bezüglich der Lärmbelastung bei Sprechfunkanwendungen bei Luftfahrzeugführern (Matschke, 1987, 1988) erfolgten, so sind bisherige Analysen bei den eigentlichen hauptamtlichen Funkern eher von sporadischem Charakter. Zwar wurden interne Messungen an Kopfhörerarbeitsplätzen durchgeführt, (Abschlussbericht WTD 91, 2006) aber eine wissenschaftliche Gefährdungsanalyse des dort tätigen Personenkreises im Hinblick auf die Lärmbelastung und eventuell bereits eingetretener Schäden ist bisher unterblieben.

Deswegen soll in der vorliegenden Promotionsarbeit am Beispiel einer Funkereinheit der Bundeswehr eine arbeitsmedizinisch-wissenschaftliche Gefährdungsanalyse unter besonderer Berücksichtigung der akustischen Belastung erstellt werden.

Es ergeben sich folgende zentrale Fragestellungen:

- 1.: Welche Veränderungen in den tonaudiometrischen Untersuchungen zeigen sich im Vergleich zu den Audiogrammen vor Exposition?
- 2.: Kann im Falle einer Veränderung der Zusammenhang zur beruflichen Belastung gesehen werden?
- 3.: Welche vermeidbaren Lärmquellen existieren und wie können diese verändert oder ausgeschaltet werden?

Die zu Grunde liegende Hypothese ist dabei, dass eine chronische Exposition gegenüber Lärm, verursacht durch Tast- und Sprechfunk, zur berufsbedingten Lärmschwerhörigkeit führen kann.

## **2 Probanden und Methodik**

### **2.1 Probandenkollektiv**

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Funkereinheit der Bundeswehr im Großraum Berlin als Untersuchungsobjekt ausgewählt. Zum Zeitpunkt der Untersuchung befanden sich ca. 160 Soldaten und zivile Mitarbeiter in der Verwendung als Funker beziehungsweise Erfasser.

Eine genaue Zahl der tatsächlich aktiven Funker konnte nicht ermittelt werden, da einige Soldaten zwar der Funktätigkeit zugeordnet waren, diese aber nicht aktiv ausübten und zu dem Untersuchungszeitpunkt in anderen Teilbereichen der Einheit ihren Dienst versahen. Aufgrund der Befragung verschiedener Vorgesetzter und Schichtleiter konnte jedoch die oben angeführte Größe ermittelt werden, die als ungefähre Schnittmenge zu verstehen ist und der tatsächlichen Zahl sehr nahe kommen dürfte.

Zu berücksichtigen ist, dass die Teilnahme an der Untersuchung die Freiwilligkeit voraussetzte und somit einige Funker das Angebot der Teilnahme ablehnten. Des Weiteren ist anzumerken, dass sich ein Teil der Soldaten für mehrere Monate im Auslandseinsatz befand, oder Soldaten und zivile Mitarbeiter krankheits- oder urlaubsbedingt nicht anwesend waren. Ein geringer Prozentsatz der im Funkdienst Tätigen war zu mehrwöchigen Fortbildungslehrgängen eingeteilt. Dieses sind im Wesentlichen die Gründe, warum nicht alle 160 aktiven Funker erfasst werden konnten.

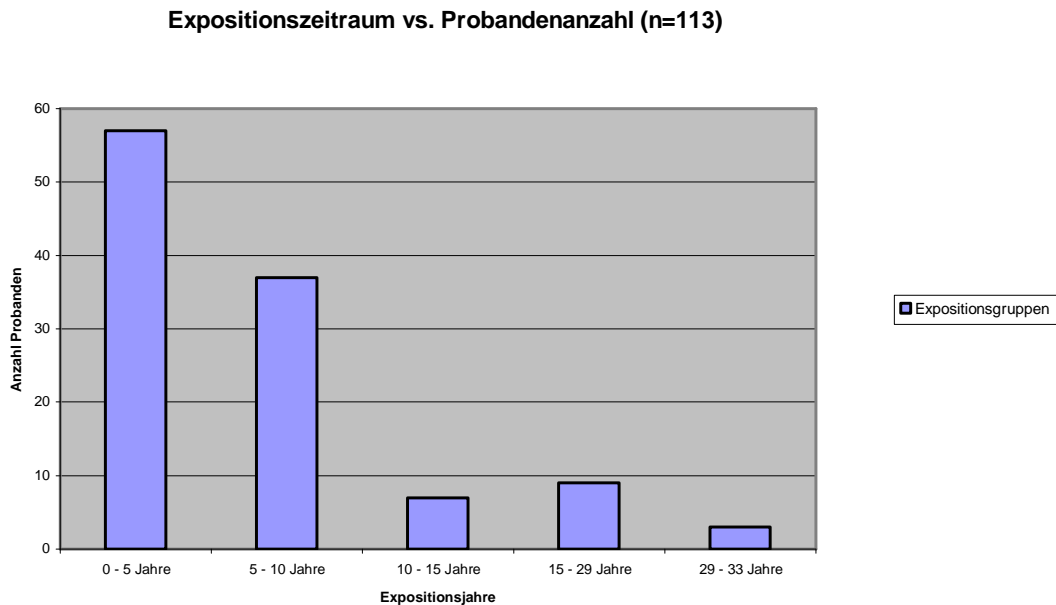
Insgesamt konnten 113 Funker zur Untersuchung rekrutiert werden.

Diese Gruppe setzt sich aus  $n = 96$  (84,95 %) Männern und  $n = 17$  (15,04 %) Frauen zusammen. Die Gruppe der Männer beinhaltet  $n = 12$  (10,61 % der gesamten Gruppe) zivile Angestellte.

Diese Gruppe der zivilen Angestellten stellt eine Besonderheit dar. Bei diesen Probanden handelt es sich fast ausschließlich um ehemalige Soldaten, die bereits als solche in dieser Verwendung eingesetzt waren und somit auf eine längere Expositionszeit als die meisten aktiven Soldaten zurückblicken können.

Die Länge der Dienstzeit der erfassten Funker ist als sehr unterschiedlich zu bewerten. Sie erstreckt sich über einen Zeitraum von einem Monat bis hin zu 33 Jahren (Abb. 4).

Das Durchschnittsalter der gesamten Gruppe betrug 30,9 Jahre, bei einer Durchschnittsexpositionszeit von 7,0 Jahren.



**Abbildung 4: Gegenüberstellung Expositionszeit und Probandenanzahl**

Die beschriebenen Probanden verteilen sich auf fünf verschiedene Abteilungen des untersuchten Funkbereiches mit unterschiedlichen Aufgaben:

Nur Sprechfunk:	20 Personen
Nur Tastfunk:	39 Personen
Gleichzeitig	
Tast- und Sprechfunk:	38 Personen
Datenverarbeitung:	2 Personen
Auswerter:	14 Personen

Datenverarbeitung bedeutet hierbei die Ausübung der technischen Unterstützung, wobei sich diese Soldaten oder zivilen Mitarbeiter gelegentlich im lautstärkeintensiven Bereich aufhalten müssen, wohingegen die Auswerter die zuvor gespeicherten Signale hören und auswerten, aber eben nicht direkt vor den Funkgeräten sitzen. Die

Geräuschkulisse ist jedoch mit der denen die Tast- und Sprechfunker ausgesetzt sind identisch.

Zum Ausgangszeitpunkt der Untersuchung zeigte sich folgende Situation: 12 Probanden beklagten Beschwerden unterschiedlichster Ausprägung. Im Einzelnen sind hier zu nennen (Doppelnennung möglich):

Tinnitus ein- oder beidseitig:	9
Nachhören der Funkgeräusche:	1
Hörminderung:	1
Akkommodationsschwierigkeiten:	1
Trockene Nasenschleimhaut:	1
Gehörgangsentzündung:	1

Im Falle der das Ohr betreffenden Beschwerden war bisher kein eindeutiger Zusammenhang zum Dienstgeschehen nachgewiesen worden.

Für die Akkommodationsschwierigkeiten und die Nasentrockenheit machten die betroffenen Personen den Dienst und dessen Umstände verantwortlich. Auch hier konnte ein Zusammenhang bisher nicht bewiesen werden.

Acht Probanden gaben an, in der Vergangenheit unter einer Erkrankung des Innenohres gelitten zu haben, aber inzwischen wieder gesund zu sein.

Im Einzelnen sind hier zu nennen:

Tinnitus ein- oder beidseitig:	2
Lärmtrauma ein- oder beidseitig:	2
Hörsturz einseitig:	2

Eine Probandin war der Meinung, dass der Dienst häufiger Migräneattacken bei ihr auslösen würde.

Auch in diesen Fällen konnte bislang die Tätigkeit als Ursache nicht bewiesen werden.

## 2.2 Datengewinnung

Um sich einen Überblick zu verschaffen, erfolgte ca. einen Monat vor Beginn der Studie eine Begehung der Räumlichkeiten, in denen sich die Arbeitsplätze befanden. Aus Gründen der militärischen Sicherheit musste eine Anmeldung erfolgen. Eigene Fotos des betroffenen Bereiches durften aus demselben Grund nur sehr eingeschränkt angefertigt werden.

Vorangegangen waren mehrere detaillierte Gespräche mit den führenden Offizieren und Sicherheitsbeauftragten der Einheit, um Eindrücke über die Arbeitsabläufe, Charakteristika und Probleme der Tätigkeit zu gewinnen. Hieran schloss sich eine Erläuterung des Vorhabens in Form eines Vortrages vor dem gleichen Personenkreis an. Im Rahmen dieses Vortrages wurden der zeitliche Ablauf der Studie besprochen, aber auch bereits die Frage- und Aufklärungsbogen, sowie die Vordrucke der Einverständniserklärungen ausgeteilt, sodass diese frühzeitig an die Probanden weitergereicht werden konnten. Es stand somit ein Zeitraum von ca. drei Wochen zur Verfügung, in dem sich die betroffenen Funker mit der Thematik auseinandersetzen konnten.

Um eine Bewertung der Auswirkungen der Lautstärkebelastung der Probanden zu erhalten, wurden alle mit der Untersuchung einverständenen Funker audiometrisch untersucht. Um große zeitliche Verzögerungen zu vermeiden, die als Störfaktoren zum Beispiel eine Interaktion zwischen bereits untersuchtem und nicht untersuchtem Probanden zur Folge gehabt haben könnten und um auch einen reibungslosen organisatorischen Ablauf zu gewährleisten, wurden alle Probanden in einem Zeitfenster von ca. zwei Wochen audiometriert. Hierdurch gelang es, die verschiedenen Dienstschichten nacheinander zu erfassen und auch nachträglich sich meldende Probanden in die Studie einzubinden. Nach Ausfüllen des Fragebogens erfolgten eine kurze HNO-ärztliche Untersuchung und die Durchführung der Audiometrie. Die so gewonnenen Audiogramme wurden später mit alten, vor Exposition existierenden Audiogrammen hinsichtlich eventueller Hörminderungen verglichen. Zusätzlich zu diesen Daten erfolgte eine Analyse der abgefragten Parameter des Fragebogens, die teilweise frei, aber auch im geschlossenen Fragestil gestellt wurden.

Die wesentlichen Kernpunkte der Erhebung betrafen dabei die Erfragung folgender Merkmale:

- Otologische Vorerkrankung
- Tastfunk- oder Sprechfunkdienst
- Expositionsdauer
- Subjektive empfundene Belastung
- Subjektiv empfundene unangenehmste Funkart
- Unangenehmstes Hören: mit oder ohne Kopfhörer?

Als Zielparameter sollte am Ende der Untersuchungen ein eventueller Zusammenhang zwischen subjektivem Empfinden und eventueller Hörminderung, aber auch eine objektive Ermittlung fraglich nachteiliger funktechnischer Ausrüstungen ermittelt werden.

Nach Abschluss der Probandenuntersuchungen erfolgte eine Vermessung der Räumlichkeiten auf ihre akustische Belastung hin. Dafür wurde zunächst mit einem tragbaren Gerät die dB(A)-Belastung an verschiedenen Punkten im Erfassungsraum aufgenommen. In Ergänzung wurde dann die dB(A)-Emission der Kopfhörer mithilfe eines Kunstkopfes ermittelt.

Somit besteht bei der späteren Auswertung neben der Feststellung der Hörleistung und einer eventuellen Hörschädigung vielleicht die Möglichkeit, diese in Bezug zur Lautstärkebelastung zu setzen.

### **2.3 Gefährdungsbeurteilung**

Unter Gefährdungsbeurteilung versteht man die Erfassung sämtlicher arbeitsbezogener Aspekte, die ein Risiko für die Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer in sich bergen.

Der Arbeitgeber hat gemäß Arbeitsschutzgesetz § 5 die Aufgabe, die Arbeitsbedingungen dahingehend zu beurteilen, um Gefährdungen für den Arbeitnehmer zu erkennen und unter Umständen Maßnahmen zu ergreifen und die Gefährdungen zu beseitigen (Arbeitsschutzgesetz, 2004 ).

Die Einschätzung der Gefährdungsbeurteilung unterliegt einer Vielzahl von unterschiedlichen Faktoren, die auf den am Arbeitsplatz Tätigen einwirken und mit ihren Belastungen und Beanspruchungen eine dynamische Wechselbeziehung erzeugen (Romert und Ruthenfranz, 1975, 1983).



Bei BLUME und KARSTEN erfolgte in Weiterentwicklung des Arbeitsschutzgesetzes eine Einteilung der Faktoren der Gefährdungsbeurteilung in Gruppen (Blume und Karsten, 1997), wobei die Gefährdungsbeurteilung dieser Studie einige davon herausgreift und schwerpunktmäßig betrachtet.

An erster Stelle sei die physikalische Belastung genannt, unter der in diesem Falle die Lärmbelastung steht.

Des Weiteren wird auf die zu erwartenden, folgenden Einwirkungen eingegangen:

- thermische Gefährdung
- Belastung durch die Arbeitsumgebung
- weitere Gefährdung

Die untersuchten Funker unterliegen durch die Tätigkeit des Hörens einer akustischen und somit ursprünglichen physikalischen Belastung, die unmittelbar durch das Dienstgeschehen verursacht wird und nur begrenzt beeinflussbar ist, ohne die aufgetragenen Aufgaben zu vernachlässigen.

Obschon es sich bei dem beschriebenen Bereich nicht um einen ausgewiesenen Lärmbereich handelt (VBG 121, 1990), erfolgt trotzdem eine arbeitsmedizinische Überwachung der darin Tätigen durch die verantwortlichen gewerblichen Berufsgenossenschaften.

Unter Berücksichtigung der zuvor erwähnten Gliederung der Gefährdungsbeurteilung soll die Analyse der Tätigkeit der im Funkdienst stehenden Soldaten und Zivilisten durchgeführt werden.

## **2.4 Arbeitsplatzbeschreibung**

### **2.4.1 Arbeitszeiten**

Die im Funkdienst Tätigen der beschriebenen Einheit sind in drei Schichten zu je acht Stunden eingeteilt. Der Wechsel in die jeweils nächste Schicht findet um 6.00, 14.00 und 22.00 Uhr statt. Hierbei sind die Früh- und Mittelschicht mit bis zu 25 Personen die personell am stärksten besetzten. Um eine vollständige personelle Abdeckung zu gewährleisten, wird ein überlappender Betrieb aufrechterhalten. Dadurch sind die

Arbeitsplätze zu keinem Zeitpunkt vollständig unbesetzt. Es kommt während der Wechselzeiten nur zu kurzzeitigen passageren Ausdünnungen der Personalstärke. Die Wochenenden und Feiertage stellen hierbei keine Ausnahme dar, allerdings wird die personelle Besetzung reduziert, da auch das Funkaufkommen geringer ist. Insgesamt wird 365 Tage im Jahr der beschriebene Dienst verrichtet.

#### **2.4.2 Räumlichkeiten**

Die 63 Arbeitsplätze sind in vier Räumen unterschiedlicher Größe aufgeteilt. Diese reichen von ca. 25 qm bis hin zu ca. 300 qm. Die untersuchten Probanden wurden jedoch größtenteils aus denjenigen Funkern rekrutiert, die sich im größten Raum befanden. Diese Räume, im Fachjargon „Cages“ genannt, sind mit Metallgehäusen ummantelt, um eine faradaysche Isolierung zu erreichen (Abb. 5).

Die Zugangsbereiche sind daher auch mit einer doppelten Schleusentür versehen, um die hermetische Abriegelung zu gewährleisten. Die gesamte Konstruktion hat keine Fenster, vermutlich auch aus Gründen der beschriebenen elektromagnetischen Isolation. Ein genauer Grund hierfür konnte nicht eruiert werden. Somit muss die Beleuchtung durch Kunstlicht und die Belüftung durch eine Klimaanlage erfolgen. Der Fußboden ist mit unterschiedlichsten Materialien ausgelegt, wohingegen die Wände aus einem Baumaterial mit glatter Oberfläche, überwiegend Metall, bestehen. Die in den Räumen tätigen Funker können während des Dienstes also keine sensorisch-visuellen Eindrücke über die Tageszeit oder genaue Wetterverhältnisse erhalten.

Sanitäre Einrichtungen und Ruheräume befinden sich im Komplex und sind nach kurzen Fußwegen zu erreichen.

Die sicherheitstechnischen Auflagen, wie z. B. die Verwendung von feuerhemmenden Baustoffen (DIN 4102-4, 1994), das Vorhandensein von ausgeschilderten Notausgängen, Notbeleuchtungen (Bautechnische Prüfverordnung, 2006) und Feuerlöschern sind erfüllt. Entsprechende Begehungen und Kontrollen finden regelmäßig durch den Sicherheitsbeauftragten statt.



**Abbildung 5: Außenansicht Betriebsraum, sog. "Cages"**

### **2.4.3 Arbeitsplatz und Tätigkeit**

Die verschiedenen Funkgeräte sind in den Räumen in unterschiedlich langen Reihen pultartig nebeneinander angeordnet. Der Funker sitzt frontal auf einem Rollstuhl vor diesen Geräten (Abb. 6). Der Abstand zu seinem Nachbarn ist unterschiedlich groß und von der personellen Schichtstärke, dem Auftrag und dem Arbeitsanfall abhängig. Es kann möglich sein, dass der nächste Platz unbesetzt ist, oder aber auch zu beiden Seiten Funktätigkeit stattfindet.

Je nach den genannten Faktoren kann der Funker für bis zu vier Funkgeräte zuständig sein, wobei er dann mithilfe des Rollstuhls zwischen den Geräten wechselt.

Prinzipiell wird im Folgenden nur der Ablauf bei der Tätigkeit des Hörens beschrieben, da das aktive Funken bei der Fragestellung der Studie von untergeordneter Bedeutung ist.

Der Funker erhält nun den Auftrag, bestimmte Frequenzen zu suchen und einzustellen. Für die Detektion der richtigen Frequenz scannt der Funker manuell die Frequenzbänder ab, wobei kontinuierlich gehört wird, bis die gewünschte Frequenz

erreicht ist. Zur technischen Unterstützung des Auffindens wird eine visuelle Frequenzdarstellung in Form von digitalen Anzeigen auf Displays oder Monitoren angeboten, allerdings ist eine solche Ausstattung, je nach Auftragsart und Arbeitsplatz, unterschiedlich. Ist die gewünschte Zielfrequenz gefunden, bleibt diese dann, je nach Auftrag, unterschiedlich lang eingestellt und wird kontinuierlich von dem zuständigen Funker gehört, wobei die Lautstärkeintensität sowohl von der Einstellung des Funkers als auch von der Signalintensität abhängig ist. Die dabei empfangenen Funksignale lassen sich in ihrer Qualität unterschiedlich bewerten. Der Sprechfunk besteht aus weniger hohen Tönen als der Tastfunk, eine weibliche Stimme ist höherfrequent als eine männliche Stimme und es findet eine Verunreinigung des informationstragenden Signals durch Nebengeräusche wie Wettereinflüsse oder auch andere, auf gleicher Frequenz übertragener Funksprüche statt. Dazu kommt der Umstand, dass der Funker bis zum Einstellen der gesuchten Frequenz unter Umständen vorher verschiedene Töne und Geräusche ungewollt hören muss, die in den benachbarten Bereichen des gesuchten Signals liegen. Die genannten Faktoren beschreiben soweit die Tönhöhen und -intensitäten. Nicht außer Acht gelassen werden darf auch die Tatsache der Geschwindigkeit des Auftretens des stör- oder informationstragenden Signals. Ein langsam sich in der Intensität steigernder Ton unterscheidet sich von einem plötzlichen und rasch einsetzenden Signal, das impulsartig auftritt.

Das Hören erfolgt per Kopfhörer oder auch mit bloßen Ohren, wobei die Entscheidung, ob ein Kopfhörer benutzt wird, bis vor Kurzem dem Funker selbst oblag. Diese war dann abhängig von individuellen Vorlieben, dem allgemeinen Geräuschpegel im Raum oder auch der Stärke des gewählten Signals. Im Allgemeinen lässt sich jedoch feststellen, dass, je leiser die Geräuschkulisse im Raum ist, desto häufiger mit unbewehrtem Ohr gearbeitet wurde.

Bei den verwendeten Kopfhörern sind handelsübliche Geräte der Marke Sennheiser HD 410 als geschlossenes System und Sennheiser HD 414 als offenes System im Gebrauch. Offen bedeutet hierbei, dass die Ohrlautsprecher mit einer Schaumstoffauflage versehen sind, die auch die Aufnahme von Umgebungsgeräuschen gestattet und eine Belüftung der Ohren zulässt. Die geschlossenen Systeme hingegen dichten durch einen gepolsterten Wulst die Ohren zur Umgebung hin kapselartig ab, wie es bei Gehörschutzkapseln bekannt ist und verwehren hierdurch die oben genannten Vorteile, was auch, bis auf die mangelnde Ohrbelüftung, angestrebt ist. Die Aufnahme von störenden Umgebungsgeräuschen wird somit minimiert, allerdings ist die Möglichkeit

der verbalen Kontaktaufnahme ebenfalls reduziert, welches unterschiedlich bewertet wird.

Die turnusgemäßen, gesetzlich verlangten Vorsorgeuntersuchungen zur Früherkennung und Vermeidung von lärmbedingten Gehörschädigungen werden regelmäßig durch einen ausgebildeten und bestellten Arbeitsmediziner durchgeführt (Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen G 20 Lärm, 1981, Arbeitsschutzgesetz, 1996).



**Abbildung 6: Arbeitsplätze**

## **2.5 Die Reintonaudiometrie**

Bei der Reintonaudiometrie handelt es sich um ein subjektives Messverfahren mithilfe dessen die Hörschwelle in Luft- und Knochenleitung bestimmt wird (Ernst, 1998). Das Audiometer erzeugt hierbei Sinustöne unterschiedlicher Lautstärke (DIN 45620) in den Frequenzen von 125 Hz bis 8 kHz. Die Abstände zwischen 125 bis 1000 Hz liegen in Oktavabständen und darüber bis 8 kHz in Halboktavabständen. Angeboten wurden zunächst Dauertöne bis hin zu einer Intensität von maximal 110 dB. Unterschieden wird zwischen Luft- und Knochenleitung. Bei der Messung der Luftleitung erfolgte die Tonvorgabe über einen Kopfhörer mit abdichtender Gummimuffe, um störende

Nebengeräusche möglichst zu minimieren. Die im zweiten Schritt durchgeführte Knochenleitung wurde über einen Knochenleitungshörer bestimmt, der durch den Probanden eng auf das Planum mastoideum aufgesetzt wurde. Sobald der Proband glaubte einen Ton erkannt zu haben, betätigte er einen Taster zur Signalgabe. Im Zweifelsfall oder bei nicht schlüssigen Ergebnissen wurden eine Messreihe oder einzelne Frequenzen wiederholt. Bei starken Absenkungen der Hörschwelle erfolgte eine Vertäubung nach Standard (Ernst, 1998), um ein Überhören auf die besser hörende Seite zu verhindern.

Die Untersuchung erfolgte nicht in einer Hörkabine, aber in einem schallarmen Raum, so wie bei der Anfertigung der vorangegangenen Audiogramme, denen sich jeder Soldat wenigstens einmal in seiner Dienstzeit unterzogen hat (Abb. 7). Durch diesen Umstand wurde versucht, möglichst gleiche Bedingungen herzustellen und etwaige Fehlerquellen von vorneherein zu vermeiden. Mindestens bei der Musterung, spätestens jedoch bei Einstellung in die Bundeswehr, werden Untersuchungen in diesem Stile durchgeführt, sodass regelmäßig mindestens ein Audiogramm von vor Funkexposition existiert. Die Dokumentation des Messergebnisses fand durch Ausdruck der Messkurve statt, die, um Verwechslungen zu vermeiden, mit den persönlichen Daten und der studienspezifischen, laufenden Nummer versehen wurde.

Bei dem für diese Studie benutzten Audiometer handelt es sich um ein Gerät der Firma Auritec vom Typ AT 409. Damit sind seit Jahren nahezu alle Bundeswehrstandorte ausgestattet. Dies gewährleistet Kontinuität und Fehlerverringering in der Anwendung sowohl durch den Prüfer als auch durch den Probanden und eine deutliche Vereinfachung beim Vergleich der alten mit den neu erstellten Messkurven. Der Eichordnung entsprechend erfolgten bislang regelmäßige Wartungen, die eine einwandfreie Funktion des Gerätes gewährleisten (Eichordnung, 1992).



**Abbildung 7: Messplatz**

### **2.5.1 Vergleichsdaten**

Die Intention der Datenerhebung liegt darin, nach der Anfertigung der Post-Expositionsaudiogramme diese denen vor Exposition gegenüberzustellen, denn nur beim Vorliegen dieser Voraussetzungen kann überhaupt erst eine vergleichende Betrachtung durchgeführt werden.

Im Gegensatz zum zivilen Gesundheitssystem existiert in der Bundeswehr eine Besonderheit in Bezug auf die Dokumentation der medizinischen Befunde jedes Soldaten. Sämtliche Daten, die die gesundheitlichen Belange des Soldaten betreffen, werden in der so genannten Gesundheitsakte, auch als „G-Akte“ bezeichnet, dokumentiert und gespeichert. Die Dokumentation beginnt mit der Erstuntersuchung bei der Musterung, setzt sich nach Eintritt in die Bundeswehr mit der Einstellungsuntersuchung fort und endet mit der Entlassung aus dem Militärdienst. Mindestens zu den genannten Zeitpunkten und auch vor Antritt von Lehrgängen werden Audiogramme durch den zuständigen Truppen- oder, nach Überweisung, auch HNO-Facharzt erstellt. Diese und alle weiteren zwischenzeitlichen anfallenden medizinischen Dokumente werden in der beschriebenen Akte abgelegt.

Nach Ende der Dienstzeit werden die G-Akten an das Institut für Wehrmedizinalstatistik und Berichtswesen der Bundeswehr weitergereicht, um dort auf Mikrofilm abgespeichert zu werden. Dort stehen sie, nach Abgabe der Einverständniserklärung des betreffenden Soldaten, Dritten zur Einsicht bereit.

Außerdem werden in der untersuchten Einheit regelmäßige Audiogramme durch den arbeitsmedizinischen Dienst angefertigt, die ebenfalls zur weiteren Analyse zur Verfügung standen.

Im Falle dieser Studie wurden für die aktiven Soldaten die G-Akten herangezogen, wohingegen bei den zivilen Mitarbeitern Audiogramme von vor Funkexposition beim Institut für Wehrmedizinalstatistik angefordert wurden. Bei beiden Gruppen erfolgte unter Umständen zusätzlich eine Hinzuziehung der Audiogramme des arbeitsmedizinischen Dienstes, wenn über die oben beschriebenen Wege keine Audiogramme beigebracht werden konnten.

Hiernach erfolgte der direkte Vergleich der durch den Truppenarzt angefertigten Audiogramme auf ihre Abweichungen hin. Um lärmbedingte Schädigungen zu erkennen, wurde nach einer Hörschwellenabweichung im Bereich um 4 kHz gefahndet (Feldmann, 2001, Fleischer, 2001, Lenhardt und Laszig, 2001, Arnold und Ganzer, 1999). Zusätzlich wurde das jeweilige Audiogramm auch in seiner Gesamtheit auf pathologische Befunde hin betrachtet.

Um die Untersuchungsbestimmungen so gut wie möglich zu standardisieren, wurde ein Audiometer benutzt, welches mit denen seit 15 - 20 Jahren in der Truppe verwendeten Geräten identisch ist. Die Messung selbst wurde bewusst nicht in einer Hörkabine, sondern in einem schallarmen Raum durchgeführt, um auch hier eine Angleichung der Bedingungen zu erzeugen.

## **2.6 Schallpegelmessungen**

Zur weiteren Ermittlung der etwaigen Lärmbelastung an den beschriebenen Arbeitsplätzen erfolgte eine Messung des Schalldrucks in dB(A) in unterschiedlicher Messanordnung. Zu berücksichtigen ist der unterschiedliche Schalldruck in Abhängigkeit von der Entfernung zur Schallquelle.

Zu unterscheiden sind hier als Emissionsquellen zum einen die Funkgeräte, und zum anderen allgemeine Störgeräusche im Raum, wie z. B. die Klimaanlage oder aber auch



der Geräuschpegel der Funksignale, die sich im Raum anders darstellen können als zum Beispiel unter dem Kopfhörer oder direkt vor dem Funkgerät. Da postuliert wird, dass die stärkste Schallemission von den Funkgeräten ausgeht, muss diese in der Messanordnung besondere Beachtung finden (Abschlussbericht WTD 91, 2006, Matschke, 1987). Bezüglich der Schalldruckmessung unter dem Kopfhörer wurde in der Messanordnung zusätzlich nochmals nach der Qualität Sprech- und Tastfunk unterschieden. Deswegen erfolgte die Schalldruckmessung im Raum an unterschiedlichen Positionen und direkt unter dem Kopfhörer.

### **2.6.1 Schallpegelmessung im Raum**

Für die Schalldruckmessungen im Raum wurden zwei verschiedene Positionen ausgewählt. Zum einen die Aufstellungen eines Hand-Schallpegelmessgerätes des Typs Digital Sound Meter 8922 der Firma ELV, mit der Genauigkeitsklasse 2 (Betriebsmessungen), (DIN 60651, 1994, MPG, 2002) unmittelbar vor einem Funkgerät in ca. 80 cm Höhe, entsprechend der DIN 45645-2, sodass die Sitzposition eines Funkers bei normaler Tätigkeit ohne Benutzung eines Kopfhörers simuliert wurde. Da bei dieser Art der Schalldruckermittlung der zu vermessende Arbeitsplatz nicht besetzt werden konnte, wurde das Funkgerät von einem Funker so eingestellt, wie es der im täglichen Arbeitsablauf subjektiv als üblich empfundenen Lautstärke entsprach. Für die weitere Vermessung wurde das gleiche Gerät, bei identischer Höhe, an zentraler Position im Raum aufgestellt, wobei sich diese bei einem rechtwinkligen geometrischen Raummaß leicht ermitteln ließ.

Hier wurden die Messungen bei laufendem Routinefunkbetrieb durchgeführt, ohne dass besondere Einstellungen erfolgten. In beiden Fällen erfolgte eine elektronische Aufzeichnung und Speicherung über 24 Stunden. Bei der Auswahl des Gerätes wie auch der Auswertung der Pegelaufzeichnung wurden ebenfalls die Vorgaben der DIN 45645-2 berücksichtigt (DIN 45645-2, 1997).

Entsprechend den Empfehlungen der DIN 45645-2 standen im Ergebnis als Messergebnisse in dB(A) der mittlere Schalldruck-, der Spitzenschalldruck- ( $L_{peak}$ ) und der Minimalschalldruckpegel zur Verfügung.

## 2.6.2 Schallpegelmessung mit Kopfhörer

Um die Vermessung der Schalldruckpegelstärke bei Kopfhörerbetrieb zu bestimmen, wurde ein Kunstkopf des Typs ISL des Instituts Saint-Louise mit beidseitiger Messeinrichtung verwendet. Dem Kunstkopf wurde, der Arbeitsplatzausstattung entsprechend, ein Kopfhörer vom Typ Sennheiser HD 414 aufgesetzt, die Ergebnisse für eine Dauer von ca. vier Stunden mitgeschrieben und zur späteren Analyse auf DAT-Band gespeichert (Abb. 8). Ähnlich wie bei der Raumpegelmessung wurde ein üblicher Funkarbeitsplatz ausgewählt und die Lautstärke durch einen Funker der allgemeinen Intensität entsprechend eingestellt. Da eine 24-Stunden-Messung und Speicherung technisch nicht möglich war, musste, um ein valides Ergebnis zu erhalten, ein Kompromiss gefunden werden. Aus diesem Grunde begannen die Messungen vor einem Schichtwechsel des Senders, d. h. vor einer Phase verstärktem Funkbetriebes, der so genannten Wechselzeit. Sowohl die Zeit davor und danach wurde aufgezeichnet, sodass intensive und mittlere Tagestätigkeit erfasst werden konnte. Dadurch ist eher der lärmintensivere als die leisere Tätigkeitsphase aufgezeichnet worden.

Da das Messgerät den Beurteilungspegel ( $L_r$ ) nicht unmittelbar ermitteln konnte, musste die Umrechnung nach der folgenden Formel laut DIN 45645-2 erfolgen:

$$L_r = L_{Aeq} + K_1 + K_T + 10 \log T/Tr \text{ db}$$



**Abbildung 8: Messanordnung Kunstkopfmessung**

### **2.6.2.1 Schallpegelmessung Tastfunk mit Kopfhörer**

Nachdem die vorgenannten Messbedingungen festgelegt waren, erfolgte zur weiteren Spezifizierung der Schalldruckmessungen nach Art des Funksignals die Zweiteilung der Kopfhörermessungen. In einem Messzweig wurde durch einen Funker eine Frequenz eingestellt, die ausschließlich ein Tastfunksignal übertrug. Deren Einstellung, Registrierung und Aufzeichnung erfolgte nach den im vorherigen Kapitel erläuterten Kautelen.

### **2.6.2.2 Schallpegelmessung Sprechfunk mit Kopfhörer**

In gleicher Weise, wie unter 2.6.2.1 erläutert, wurde in einem zweiten Messzweig mit der Messung und Speicherung eines nur Sprechfunk tragenden Signals vorgegangen. Die Verarbeitung der Daten erfolgte in gleicher Weise.

## **2.7 Sonstige Belastungen**

Die Probanden hatten die Möglichkeit, sich frei über weitere, als belastend zu wertende Einflüsse am Arbeitsplatz zu äußern. Hierzu bot sich der Fragebogen an, auf dem Erläuterungen in freier Form abgegeben werden konnten. Teilweise wurden solche Mitteilungen im persönlichen Gespräch weiter erörtert, um weitere Hintergrundinformationen zu erhalten.

## **2.8 Statistische Methode**

Zur statistischen Aufarbeitung wurde eine lineare Darstellung mit Regressionsmodell gewählt, die durch das Softwareprogramm „R“ der Firma Foundation for Statistical Computing unterstützt wurde.

Die Signifikanzniveaus wurden folgendermaßen bewertet: Ein P-Wert von  $< 0,01$  galt als hochsignifikant,  $< 0,05$  hingegen als signifikant.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Allgemeine Merkmale des Funkdienstes**

Bei der untersuchten Einheit der Bundeswehr handelt es sich um eine Funkereinheit, bei der in diesem Fall vor allem die Tätigkeit des Hörens und deren Auswirkungen näher untersucht werden soll. Die beschriebene Tätigkeit erfolgt im Schichtsystem, das gleichmäßig zu je acht Stunden die gesamte Zeit des Tages abdeckt. Die Funker halten sich hierbei in geschlossen, unterschiedlich großen, hermetisch abgeriegelten Räumen auf, die nochmals, aus Gründen der militärischen Sicherheit, in einem zugangsbeschränkten Bereich der Kasernenanlage angesiedelt sind.

Die Funkarbeitsplätze sind in unterschiedlicher Art konfiguriert. Diese können bis zu acht einzelne Arbeitsstationen umfassen, die dann in Form von langen Arbeitsplatzreihen zusammengefasst sind. Die personelle Besetzung dieser Stationen ist unterschiedlich organisiert und wechselt je nach Auftrag, Schicht und somit Tageszeit sowie Anzahl des zur Verfügung stehenden Personals. Bei den relevanten Funksignalen handelt es sich um Tast-, Sprech- und auch Datenfunk, der bearbeitet wird.

### **3.2 Personal**

Zunächst wurde eine Analyse der personellen Situation der gesamten Dienstschichten durchgeführt. Wie bereits erwähnt, erfolgte eine gezielte Befragung und die Probanden hatten zusätzlich die Möglichkeit, sich frei zu ihrer Meinung nach bestehenden Problemen zu äußern.

Hierbei fiel auf, dass eher die kürzer im Dienst stehenden Probanden (Zeitraum bis zu circa einem halben Jahr) Angaben machten, die von leichten Anpassungsschwierigkeiten zeugten. So wurde teilweise angegeben, dass die eigentliche Arbeit als noch anstrengend bewertet wurde, andererseits diesem Problem aber trotzdem keine zu hohe Gewichtung gegeben wurde. Diese Aussagen konnten insgesamt nicht präzisiert werden und mussten als Zeichen einer noch nicht in Routine übergegangenen Tätigkeit gewertet werden. Des Weiteren war augenfällig, dass in der Gruppe der seit längerem im Dienst stehenden Funker der Verdacht besteht, dass die Tätigkeit eine lärmschädigende Potenz haben könnte. Genährt wurde dieser Verdacht durch die wohl

in den vergangenen Jahren immer wieder stattgefundenen Versetzungen von Funkern, angeblich aufgrund von bereits eingetretenen Hörschädigungen. Dies ist wahrscheinlich, allerdings ließen sich hierzu keine weiteren Informationen gewinnen, da die betroffenen Mitarbeiter nicht mehr erreichbar waren. Die Gründe für die tatsächlich erfolgten Versetzungen bleiben somit von spekulativem Charakter.

An den seit Jahren stattfindenden, regelmäßigen arbeitsmedizinischen Untersuchungen wurde zwar teilgenommen, sie konnten aber in der Mehrheit die bestehenden Befürchtungen nicht völlig ausräumen. Die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Untersuchungen und Messungen wurden deswegen im Wesentlichen positiv aufgenommen.

Die weitere Betrachtung der allgemeinen Bedingungen des Funkbetriebes zeigte aber, dass die im aktiven Dienst befindlichen Funker kaum gravierende Belastungen hierdurch empfanden.

Nur eine Person (= 0,8 %) des gesamten Probandenkollektivs empfand den Schichtdienst mit der Nachtschichttätigkeit und der daraus folgenden subjektiv empfundenen Störung des zirkadianen Rhythmus als stark belastend. Festzustellen war, dass der Schichtdienst zu je acht Stunden Schichten eingehalten wurde und kaum Verlängerungen in die nächste Schicht hinein stattfanden. Überstunden werden je nach vorhandener Personalstärke und dienstlicher Notwendigkeit abgeleistet, wobei der Ausgleich in Freizeit oft nur verzögert möglich ist, deswegen müssen diese teilweise angesammelt werden. Offenbar ist die personell beabsichtigte und benötigte Stärke nicht erreicht, wofür verschiedene Gründe angeschuldigt werden können.

Zum einen gibt es immer wieder Ausfälle durch Krankheit und Urlaub, wie sie auch in zivilen Betrieben festzustellen und als üblich zu betrachten sind. Als Besonderheit der Bundeswehr gibt es jedoch weitere erwähnenswerte Situationen, die erläutert werden müssen. Durch die zahlenmäßig zunehmenden personellen Anforderungen für die Auslandseinsätze der Bundeswehr ist eine wechselnde Zahl von Funkern ständig abwesend. Diesen Einsätzen gehen spezielle einsatzvorbereitende Ausbildungen voraus, die ebenfalls die Abwesenheitszeiten verlängern. Darüber hinaus werden im Regelbetrieb dieser Einheit allgemeine Ausbildungsvorhaben von militärischem Charakter durchgeführt, die eine weitere Reduktion des verfügbaren Personalstamms verursachen.

Da es sich bei der untersuchten Einheit um eine solche handelt, die eine umfangreiche und relativ lange Ausbildungszeit vor erster Aufnahme der Tätigkeit voraussetzt, stellt es seit Jahren ein Problem dar, überhaupt Personal zu rekrutieren. Die interessierten Soldaten setzen teilweise bei der Planung ihrer Bundeswehrkarriere die relativ lange und spezielle Ausbildung der Restdienstzeit und den Verdienstmöglichkeiten gegenüber. Hierbei zeigt sich unter Umständen, dass bei gleicher Verdienstmöglichkeit Dienstposten in anderen Einheiten angeboten werden, die eine deutlich weniger intensive und anstrengende Ausbildung voraussetzen. Die Entscheidung fällt dann durchaus zu Gunsten der anderen Einheit, womit der Soldat dann als potenzieller Funker verloren geht. Etwas anders gelagert ist die Situation bei der Gruppe der Berufssoldaten und Zivilangestellten, denn hier besteht eine sehr lange Ortsbindung, die theoretisch bis zur Berentung anhalten kann. Ändern kann sich diese Situation allerdings durch die Auflösung oder räumliche Verlagerung der Einheit. Eine Möglichkeit, die von politischen Entscheidungen abhängig ist und grundsätzlich immer besteht. Dieser Faktor verursacht naturgemäß einen gewissen Grad an Verunsicherung unter den Betroffenen.

Nicht zu vergessen ist die Tatsache, dass in den vergangenen Jahren im Rahmen der Umstrukturierung der Bundeswehr eine Personalreduktion stattgefunden hat, deren Auswirkungen auch in der untersuchten Einheit zu spüren ist.

Sämtliche Faktoren zusammengenommen resultiert daraus ein dauerhafter Personalmangel, der eine besondere Arbeitsplatzbelastung erzeugt, auf die im Weiteren noch näher eingegangen wird.

### **3.3 Räumlichkeiten**

Die Räumlichkeiten verfügen über Merkmale, die einige Besonderheiten aufweisen. Wie in technischen Bereichen nicht unüblich, erfolgt die Belüftung durch eine Klimaanlage, die den Feuchtigkeitsgehalt und die Wärme reguliert. Am idealsten ist eine Temperierung, die einen zu großen Temperaturgradienten zur Außenluft verhindert, aber auch ein angenehmes Raumklima erhält. Als Zielwert gilt hier eine Differenz, die nicht größer als 6 – 10 Grad Celsius betragen sollte. Dies ist im untersuchten Fall nicht immer möglich, da die elektronische Ausstattung eine gewisse Kühlung benötigt. Ähnlich verhält es sich mit der Luftfeuchtigkeit. Klimaanlage Luft wird häufig als zu

trocken empfunden, so auch bei dieser Befragung. Insgesamt 28 Personen (= 24,7 %) empfanden die Klimaanlagebelüftung als unangenehm. Diese Angabe lässt sich nochmals aufschlüsseln, wobei mit 25 % zu trockene Luft, mit 28,5 % das Rauschen der strömenden Luft und mit 14,2 % eine als subjektiv falsch eingestellte Raumtemperatur angegeben wurde. In jeweils einem Fall wurde in der Klimaanlagebelüftung die Ursache für Nasenprobleme in Form einer chronisch rezidivierenden Rhinitis, Epistaxis und Minderung des Tragekomforts von Kontaktlinsen gesehen. In Bezug auf die Geräuscherzeugung der Klimaanlage wurde bereits im Vorfeld versucht, durch die fachgerechte Montage von Schwingungsdämpfern diese zu reduzieren. Eine vollständige Beseitigung der Problematik ist jedoch nicht möglich.

Neben dem künstlich erzeugten Klima ist auch eine nicht natürliche Beleuchtung notwendig, da die Betriebsräume nicht mit Fenstern oder anderen Lichtdurchlässen ausgestattet sind. Hierdurch fehlt den Diensttuenden jegliche Möglichkeit, die Tageszeit oder die Witterung zu erkennen oder einfach nur den Blick schweifen lassen zu können, was eine kurzfristige Entspannung herbeiführen könnte. Dieser Umstand wird von zwei Personen (= 1,7 %) als störend empfunden. Im weiteren Gespräch gab ein Proband diesbezüglich an, dass Partnereinheiten wohl über mit Fenstern ausgestattete Betriebsräume verfügten.

Des Weiteren sind die Funktionsräume vollständig von Blechhüllen umgeben, wodurch die Metallkonstruktion je nach ausgesetzter Temperatur einem Wechselspiel von Ausdehnung und Kontraktion unterliegt, wobei dann Geräusche auftreten können. Diese werden als Knacken beschrieben und von ebenfalls zwei Personen (= 1,7 %) als unangenehm empfunden.

Die weitere Ausstattung der Räumlichkeiten entspricht und erfüllt die gängigen baulichen Voraussetzungen. Sozialräume sind im gleichen Trakt fußläufig durch kurze Wege erreichbar, das Gleiche gilt für die sanitären Einrichtungen. Im Vorgriff auf die Umsetzung des Gesetzes zum Nichtraucherschutz werden Raucherzonen im Freien angeboten und auch genutzt.

Dem Brandschutz wird Genüge getan, denn es stehen Fluchtwege und Löschmittel zur Verfügung und sind auch den gesetzlichen Vorschriften entsprechend gekennzeichnet.



### 3.4 Arbeitsplätze

Die Tätigkeit an den unterschiedlichen Arbeitsplätzen ist in der Studie besonders in den Fokus der Beobachtungen gerückt. Hauptsächlich soll die Belastung bei der typischen Arbeit als Funker analysiert werden. In der betrachteten Einheit sind die Arbeitsplätze, wie bereits beschrieben, überwiegend in Gruppen angeordnet.

Im Ursprung sollte hierdurch eine systematische und überschaubare Arbeitsraumgestaltung erreicht werden. Im Laufe der Zeit zeigte sich jedoch, dass nicht alle Plätze besetzt werden konnten. Entweder weil nicht mehr genügend ausgebildetes Personal zur Verfügung stand oder weil die Personalreduktion der Streitkräfte auch die Reduktion der Dienstpostenanzahl zur Folge hatte. Deswegen wurde die gruppen- oder reihenartige Anordnung dazu genutzt, den Personalmangel zu kompensieren. Waren früher die meisten Arbeitsplätze noch von einer Person besetzt, musste nun ebenfalls eine Person bis zu vier Arbeitsplätze gleichzeitig bedienen.

Um ein gesuchtes Signal zu finden, werden bis zu vier Geräte mit einer definierten Lautstärke eingestellt und der Funker sucht bis zu acht Frequenzbänder pro Gerät ab. Wird er so schließlich fündig, kann dann auf der Frequenz weiter gearbeitet werden. Je nach individueller Vorliebe wird mit oder ohne Kopfhörer weitergearbeitet. Problematisch ist nun, dass jeder der aktiven Funker in dieser Art verfahren muss, um seine Aufgabe zu erfüllen. Hierdurch kommt es zu einem Anstieg des allgemeinen Geräuschpegels im Raum, da ein „Hochpendeln“ der Lautstärke stattfindet. Die Geräusche des Nachbargerätes stören so die akustische Aufnahmefähigkeit des davor sitzenden Funkers. Die Folge davon ist eine weitere Hochregulierung der Lautstärke. 31 Probanden (= 27,4 %) des untersuchten Personenkreises empfanden die als Nachbargeräusche bezeichneten akustischen Störungen als unangenehm. Einige Funker versuchen der Problematik zu entgehen, indem sie Kopfhörer benutzen. Die Kopfhörer schirmen in gewissem Maße zur Umgebung hin ab, sodass zum einen die Umgebungsgeräusche nur noch gedämpft wahrgenommen werden, zum anderen kommt es nicht zur Emittierung von Lärm oder störendem Geräusch in Richtung der Umgebung oder des benachbarten Funkers.

Die Führung der Funkereinheit hat dieser Problematik Rechnung getragen und hat versucht einen Kompromiss zur Lärmvermeidung herbeizuführen. Da eine Geräuschreduktion durch Personalaufstockung in absehbarer Zeit nicht möglich ist, wurde den Soldaten und zivilen Mitarbeitern befohlen, grundsätzlich Kopfhörer aus den genannten

Gründen zu tragen. Diese Anordnung ist als problematisch zu betrachten, da 59 Personen (= 55,6 %) das Kopfhörertragen von vorneherein als unangenehm empfinden. Als Begründung wurden mehrere Faktoren vorgetragen. Genannt wurden im Wesentlichen:

- ungeschütztes Ausgesetzt sein gegenüber plötzlichen Geräuschspitzen z. B. durch Gewitter oder hohe Töne beim Frequenzscannen
- mechanischer Druck durch die Kopfhörermuffen
- Bildung einer feuchten Kammer unter den Kopfhörermuffen

Zur weiteren Erläuterung muss erwähnt werden, dass sich beim Scannen und nach Einstellung der gesuchten Frequenz auch weit entfernt abspielende Witterungseinflüsse wie Gewitter zu atmosphärischen Störungen aufbauen können, die den Charakter von Knallen oder sehr hochfrequenten, einem Pfeifen ähnelnden Tönen annehmen und als sehr unangenehm empfunden werden. Bei der Studie zeigte sich, dass 46 (= 40,7 %) der insgesamt Befragten die Witterungseinflüsse und auch allgemeine Störgeräusche als die hauptsächliche Begründung nannten, warum sie den Funkdienst eher als unangenehm empfinden.

Ein weiterer Versuch der Führung der Einheit zur Geräuschreduktion bestand darin, selbst konstruierte Schallschutzwände im Raum zu positionieren, um die Ausbreitung des Schalls zu vermindern. Hierbei wurde improvisiert, da keine nennenswerten zusätzlichen Finanzmittel für Material und beratende Fachleute zur Verfügung standen. Daher wurde vorhandenes Material verwendet oder in begrenztem Maße zugekauft. Die Aufstellung war insofern schwierig, da die bestehenden Freiräume genutzt werden mussten. Schließlich konnten die Arbeitsplatzpulte nicht auseinandergezogen werden, denn nach wie vor stand nicht mehr Personal zur Verfügung, um alle Arbeitsplätze zu besetzen. Die Schalldämmung, soweit tatsächlich erfolgt, betraf somit nur umschriebene Bereiche, aber sicherlich handelte es sich nicht um eine systematische und berechnete Schalldämmung.

### 3.4.1 Subjektive Belastungsbeurteilung des Dienstbetriebes

Zur weiteren Erstellung eines Gesamtbildes der Tätigkeiten erfolgte eine Befragung der Probanden hinsichtlich der subjektiven Beurteilung des täglichen Dienstbetriebes. Hierzu wurde im eingangs zu bearbeitenden Fragebogen gezielt nach diesen Kriterien gefragt.

Im Ergebnis stellte sich dar, dass 14,5 % der Befragten den Dienst allgemein als nicht belastend empfanden, 64,9 % eine mäßige Belastung angaben und 20,5 % eine starke Belastung verspürten (Tab. 1).

Belastungsempfinden	Anzahl Probandennennungen	Prozentuale Anteil
Kein	17	14,5 %
Mäßig	76	64,9 %
Stark	24	20,5 %

**Tabelle 1: Subjektives Belastungsempfinden des gesamten Probandenkollektivs**

Aufgeschlüsselt nach der Verwendungstätigkeit Sprech- und Tastfunk, beides gemeinsam oder Auswertertätigkeit stellt sich folgendes Bild dar (Tab. 2):

Belastungsempfinden	Sprechfunker	Tastfunker	Beides	Auswerter	Anteil
Kein	1	4	8	4	14,5 %
Mäßig	12	28	24	10	64,9 %
Stark	7	7	7	2	20,5 %
Gesamt	20	39	39	16	

**Tabelle 2: Subjektives Belastungsempfinden aufgeschlüsselt nach Verwendung**

**Anmerkung:** Doppelnennungen waren in beiden Erhebungen möglich, weswegen die Probandengesamtzahl 113 übersteigt.

Insgesamt stellt sich somit mehrheitlich eine eher als mäßig empfundene Belastung der Funktätigkeit dar, die auch unter Berücksichtigung der großen Gruppen der Tast- und Sprachfunke keine nennenswerten Abweichungen aufzeigt.

### **3.4.2 Subjektive Belastungsbeurteilung des Kopfhörertragens**

Die Betrachtung des Arbeitsplatzes ließ ein wesentliches Merkmal erkennen; es handelt sich dabei um die Verwendung der Kopfhörer im täglichen Betrieb. Kurze Zeit vor Beginn der Studie war der Befehl zum generellen Tragen des Kopfhörers erfolgt, wohingegen zuvor den Funkern das Tragen freigestellt war. Bei der Eingangsbefragung wurde auch dieser Punkt im offenen Stil abgefragt, um eine Bewertung durch die Nutzer zu erhalten, da hierdurch erwartungsgemäß der Komfort bei den Funktätigkeiten beeinflusst wird.

Generell wird der Kopfhörer getragen, um sich gegenüber den vielfältigen Umgebungsgeräuschen abzuschirmen und besser auf die Informationssignale konzentrieren zu können. Allerdings wird das Tragen auch bewusst abgelehnt. Zur Begründung wurde von 55,4 % der Befragten genannt: kein Schutz vor plötzlichen Lautstärkespitzen wie durch Wetter bzw. Gewittereinflüsse verursacht und allgemeine geräuschverursachte Lautstärkespitzen.

Als gemeinsamer, negativ bewerteter Nenner stellt sich somit die impulsartige Lärmbelastung dar, ein Faktor, dem bei der weiteren Bearbeitung noch Beachtung geschenkt werden muss.

Im Gegensatz dazu steht die Auffassung des Personenkreises, der im Tragen des Kopfhörers einen Nutzen sieht. 44,6 % gaben an, ohne die Benutzung eine Minderung des Komforts zu empfinden. Zur Begründung wurde mitgeteilt, dass dann kein Schutz vor dem „Hochpendeln“ der Nachbargeräteeinstellung und dem allgemeinen, ständigen Geräuschpegel besteht.

Es zeigt sich also, dass sich die dem Sinn nach fürsorgliche Anordnung des Kopfhörertragens letztendlich gegen die Gewohnheit und den Willen zumindest der Mehrheit der durch die Studie erfassten Personen richtet.

### **3.4.3 Subjektive Belastungsbeurteilung Sprech-/Tastfunk**

Aus einer subjektiven Betrachtung heraus kann der Sprech- und Tastfunk nochmals unterschieden werden. Aufgrund der Nennungen stellte sich heraus, dass eine deutliche Trennung der beiden Formen stattfindet. Auf die Frage hin, welche Art (Tast- oder Sprechfunk) unangenehmer empfunden wird, zeigte sich ein deutliches Überwiegen bei der Ablehnung des Tastfunks. 61 Funker bezeichneten ihn als am unangenehmsten, wogegen nur 11 Personen dies beim Sprechfunk empfanden. Die restliche 41 Personen umfassende Gruppe betrachtete beide Formen als gleichartig oder machte keine Angaben, da sie sich keine Meinung diesbezüglich gebildet hat. Eine einheitliche Erklärung für diese deutliche Aussage konnte aufgrund der Vielschichtigkeit der Begründungen nicht eruiert werden, allerdings wurde doch auffallend häufig die als intensiver empfundene Belastung durch die dem Tastfunk eigene impulsartige Einzeltonhaltigkeit angegeben.

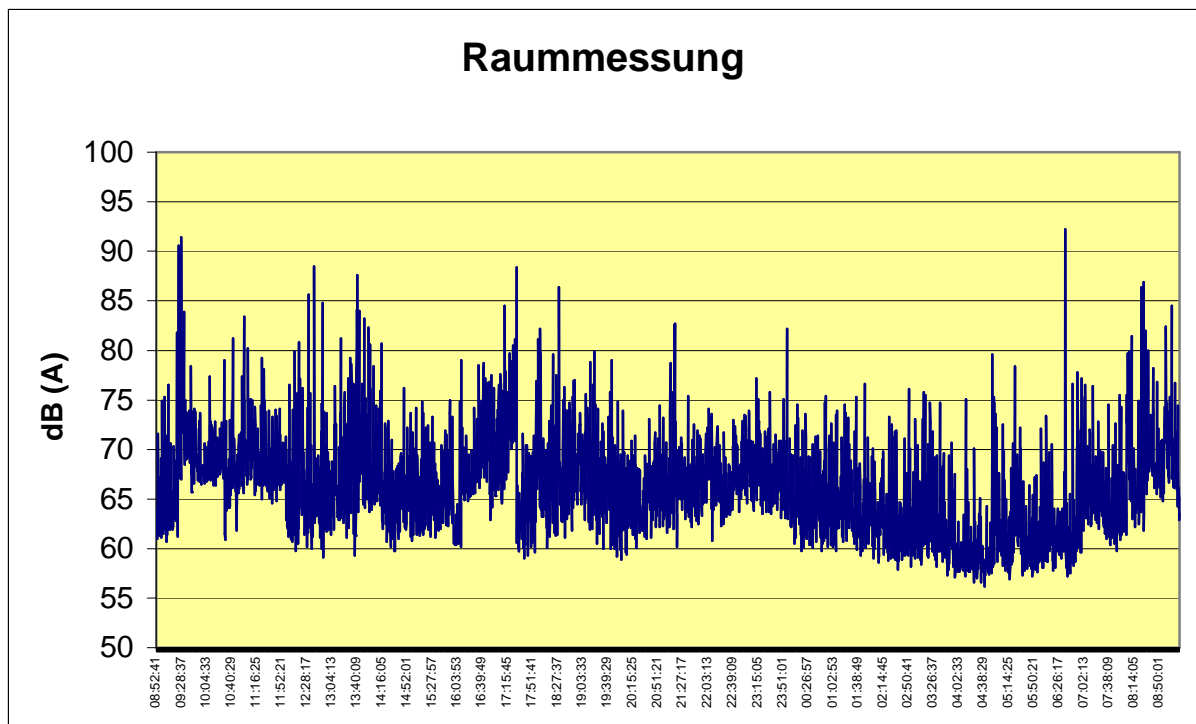
### **3.5 Schalldruckpegelmessung**

Die Schallpegelmessungen erfolgten in zwei großen, unterschiedlichen Versuchsanordnungen. Zum einen wurden die Emissionen ohne und zum anderen mit Kopfhörer gemessen. Diese Anordnung war nötig, da eine vergleichende Messung aufgrund der unterschiedlichen Belastungsbeschreibung je nach Anwendung der Kopfhörer sinnvoll erschien. Des Weiteren sollte die allgemeine Raumbeschallung ermittelt werden, um auch feststellen zu können, wie die Personen betroffen waren, die sich unregelmäßig lang und häufig in den Betriebsräumen aufhielten, also die DV-Kräfte und die Funker/Auswerter. In Bezug auf den technischen Ablauf wurde versucht, so lange wie möglich, maximal jedoch 24 Stunden, mitzuschneiden, um einen durchschnittlichen Tageswert zu erhalten. Aus technischen Gründen konnte bei der Kopfhörermessung nur einige Stunden mitgeschrieben werden. Hierbei musste die Bedienung der

Messapparatur, wie z. B. das Auswechseln der Aufzeichnungskassetten, durch das Personal selbst erfolgen, da betriebsfremden Personen der längere Aufenthalt im Betriebsraum verwehrt war. Gleichermaßen verhielt es sich bei den Raummessungen. Grundsätzlich ließ sich ein Grundrauschen messen, das ständig von Impulstönen mit deutlich hervortretenden Spitzenwerten durchsetzt war. Dies gilt für sämtliche Messanordnungen. Teilweise traten Phasen hervor, die über mehrere Minuten durch einen deutlichen Anstieg der Lautstärke gekennzeichnet waren. Dies waren entweder witterungsbedingte Unruhephasen oder so genannte Wechselzeiten, in denen Funkpartner erhöhte Aktivität zeigten. Da bei den Messungen unter dem Kopfhörer keine Kontrolle und somit keine Lautstärkeregelung durch einen Funker erfolgten, handelte es sich um eine eher statische Messung, wohingegen die Raummessungen das dynamische Funkgeschehen aufzeichneten.

### **3.5.1 Ergebnisse Schalldruckpegelmessung frei im Raum**

Bei der systematischen Aufarbeitung der Messdaten sollte als Erstes die Raummessung betrachtet werden, um eine Übersicht des Geräuschpegels zu erhalten, dem alle Mitarbeiter immer wieder unterschiedlich lang ausgesetzt sind. Die Messung erfolgte vom 30.05.07 bis zum 31.05.07 über 24 Stunden. Bei begrenzter Speicherkapazität wurde automatisiert in einem Abstand von jeweils 43 bis 44 Minuten eine Aufzeichnungssequenz durchgeführt. Ermittelt wurde so der mittlere Schalldruckpegel, aber auch der minimale und maximale Schalldruckpegel in dB(A). Das Gerät wurde nahezu mittig im Raum positioniert und schrieb den normalen Dienstbetrieb inklusive der Raumneben Geräusche mit. Hier konnten keine Manipulationen erfolgen, da ein absichtliches Laut- oder Leiseregulieren der Lautstärke im Regelbetrieb sehr unwahrscheinlich erschien.



**Abbildung 9: Aufzeichnung der Raummessung in dB (A)**

Im Ergebnis zeigte sich somit ein mittlerer Schalldruckpegel von 66,2 dB(A) bezogen auf 24 Stunden. Der maximale Wert erreichte 92,2 dB(A) und minimal 56,2 dB(A).

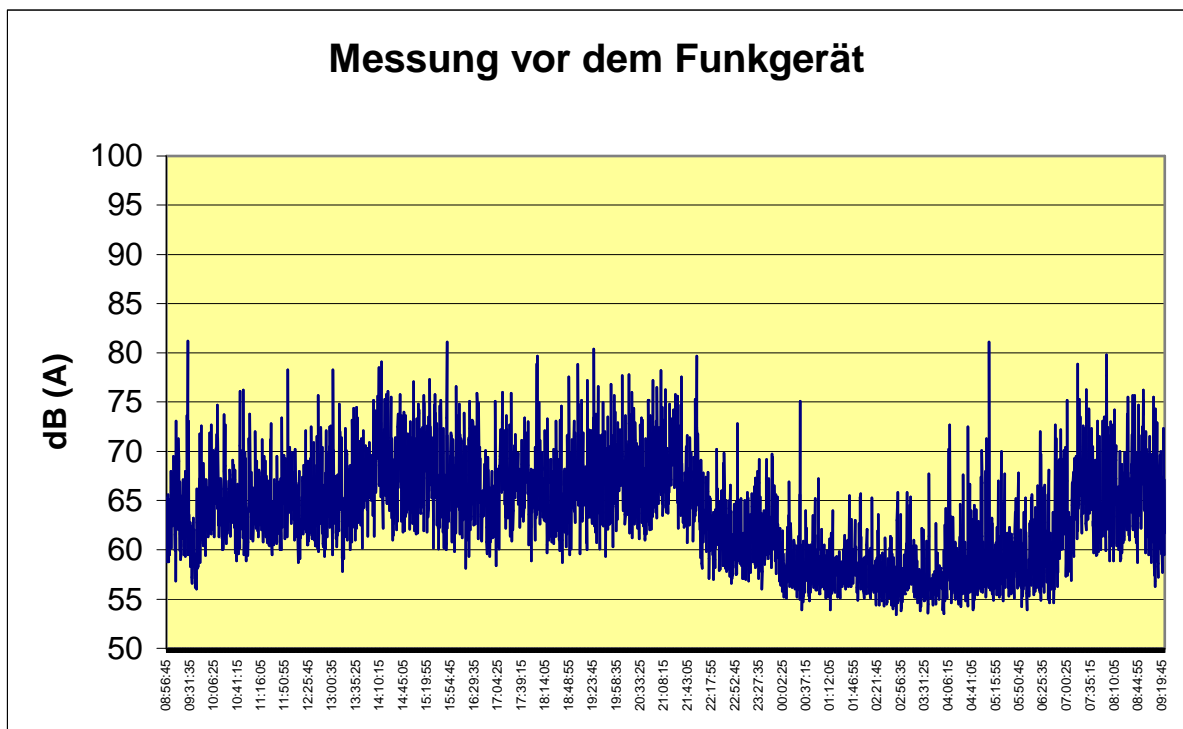
Bei Betrachtung der Grafik als auch der gesamten Darstellung zeigt sich eine deutliche Abweichung vom mittleren Schalldruckpegel (Abb. 9). Dieser liegt deutlich unter der zulässigen Höchstgrenze des Beurteilungspegels von 85 dB(A). Wenn auch der Beurteilungspegel mit den hier für Betriebsmessungen üblichen Handgeräten (DIN 45645-2, 1997) nicht gemessen werden kann, zeigt sich deutlich, dass der zulässige Grenzwert des Beurteilungspegels nicht erreicht wird, denn es besteht eine Abhängigkeit zwischen den beiden Größen, die erwarten ließe, dass der Beurteilungspegel 2 bis 3 dB(A) höher als der mittlere Schalldruckpegel liegen würde. Ähnliches zeigt sich bei der Situation der Spitzen- oder Impulsbelastung. Der minimale Schalldruckpegel beträgt 56,2 dB(A) bei einem Maximalwert ( $L_{peak}$ ) von 92,2 dB(A). Der zulässige Spitzenwertpegel von 130 dB(A) (DIN 45645-2, 1997), beziehungsweise 135 dB(A) (VDI 2058, 1988) wird somit nicht erreicht. Nach allgemeiner Auffassung ist somit bei einer Exposition, die auch von dauerhaftem Charakter sein kann, nicht von einer zu erwartenden Gehörschädigung auszugehen.

Außer Acht gelassen worden ist bei dieser Aussage jedoch der Charakter des Impulslärms. Er liegt zwar außerhalb des hörschädigenden Bereiches, ist jedoch mit einer Spitzenbelastung von mehr als 92 dB(A) sicherlich schon deutlich unangenehmer und erklärt durchaus das subjektive Unbehagen, das wiederholt geäußert wurde.

### **3.5.2 Ergebnisse Schalldruckpegelmessung am Arbeitsplatz**

Mit der gleichen technischen Vorgehensweise wurde die Schalldruckpegelbelastung direkt vor dem Funkgerät, also als Simulation des Erfasserarbeitsplatzes, gemessen. Das gleiche mobile Gerät schrieb über 24 Stunden vom 22.05.07 – 23.05.07 den Geräuschpegel mit. Im Gegensatz zur Raummessung, bei der das reale Geräuschaufkommen mitgeschrieben wurde, zeigte sich hier jedoch eine Änderung. Ein Funker stellte, nach seinem Empfinden und so als würde er das Gerät selbst bedienen, die Lautstärke ein und beließ diese Parameter für den gesamten Aufzeichnungsbetrieb. Im gewöhnlichen Betrieb greifen die Funker jedoch immer wieder ein und regulieren zum Beispiel bei Gewittern oder besonders starken Signalen die Lautstärke, um sich vor zu großen Impulsen zu schützen. Dieser Effekt kam bei der beschriebenen Messung nicht zum Tragen, hier erfolgte eher eine Darstellung des gesamten zu erwartenden Lautstärkespektrums.





**Abbildung 10: Aufzeichnung der Messung vor dem Funkgerät in dB (A)**

Das Messresultat zeigt in diesem Fall einen mittleren Schalldruckpegel von 63,2 dB(A) bei einem minimalen Schalldruckpegel von 53,4 dB(A). Der maximale Schalldruckpegel ( $L_{peak}$ ) lässt sich bei einem Wert von 81,2 dB(A) festlegen (Abb. 10). Auch in dieser Messung ist zu erkennen, dass die relevanten Werte des maximalen Impulsschalldruckpegels und des Beurteilungspegels nicht überschritten werden. Ebenso lässt sich erkennen, dass der Raummesswert etwas höher als der Wert vor den Geräten gemessenen liegt. Ein bei der ersten Betrachtung nicht schlüssiges Ergebnis, dass sich durch folgende Erklärung relativieren lässt: Zum einen kann die subjektive Lautstärkeinstellung des Gerätes dies verursachen, zum anderen können andere Geräte im Raum durchaus lauter justiert sein, was wiederum den Gesamtraumpegel erhöht. Außerdem darf nicht vergessen werden, dass auch andere Geräusche im Raum mit aufgenommen wurden, die zu einer Addition oder Schwingungsüberlagerung und somit Verstärkung der Geräuschkulisse im Raum führte.

Die wesentliche Aussage dieser zweiten Messung ist jedoch die Feststellung, dass ein

gehörschädigender Pegel auch hier nicht erreicht wird.

Für beide Aussagen gilt aber auch, dass eine Systematik im Geräuschprofil vorliegt. Obwohl die Messungen an unterschiedlichen Tagen erfolgten, ist in beiden Fällen zu sehen, dass ein deutlicher nächtlicher Pegelabfall stattfindet. Der Beginn dieser leiseren Phase liegt bei circa 03.00 Uhr und endet ungefähr sechs bis sieben Stunden später. Es kann also postuliert werden, dass die Nachtschichtphase vom Grundmuster her eine geringere Geräuschbelastung darstellt.

### **3.6 Schalldruckpegelmessung mit Kunstkopf**

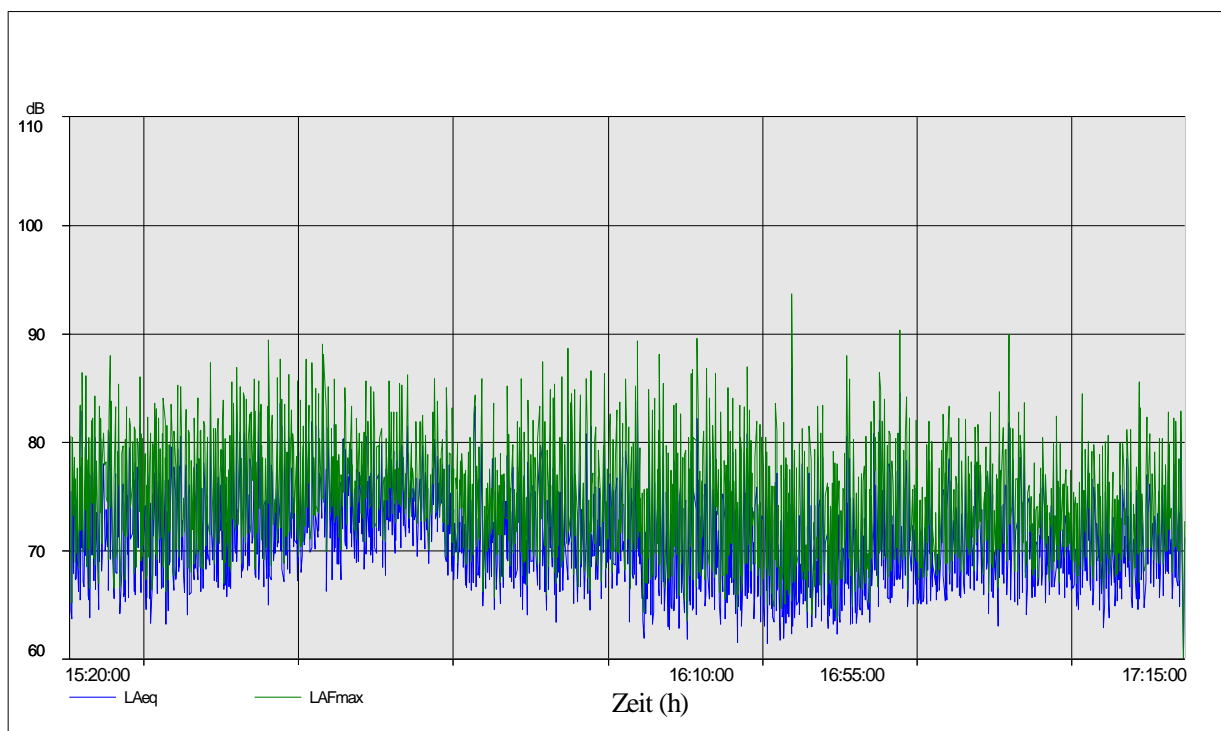
Die Kunstkopfmessung muss als Messung verstanden werden, die eine weitere Spezifizierung des Belastungsspektrums herbeiführt. Grundsätzlich wird hierbei das Hören mit Kopfhörer simuliert. Bisher wurden die allgemeinen Eckpunkte der Emissionen ermittelt, nun wird im zweiten Schritt das Kopfhörerhören nochmals nach den zwei verschiedenen technischen Formen Sprech- und Tastfunk aufgeschlüsselt. Aufgrund der Befragungen zeigt sich früh, dass die Wertigkeit des subjektiven Belastungsempfindens doch Unterschiede darlegt und somit eine nähere Betrachtung lohnt. Die Wahl des Kopfhörers, offene oder geschlossene Technik, wurde vernachlässigt, da diese bei dem eigentlichen Trägersignal und dessen Lautstärke keine wesentliche Rolle spielt.

#### **3.6.1 Schalldruckpegelmessung mit Kunstkopf, Sprechfunk**

Ein erfahrener Erfasser wurde gebeten, ein typisches Tastfunksignal auszuwählen und die Lautstärke seiner üblichen, täglichen Einstellung entsprechend zu justieren. Dann begann die Aufzeichnung des Schalldruckpegels am 16.07.07 um 15:15 Uhr und lief über einen Gesamtzeitraum von einer Stunde und 49 Minuten.

In der mehrere Tage später durchgeführten Auswertung zeigte sich ein abrupter Anstieg des Schalldruckpegels um ca. 15 dB(A) auf Werte um die 100 dB(A), was als Verstärkung der Funkaktivität interpretiert werden könnte. Auffällig war jedoch, dass das

Spektrum in dieser Zeit unverändert blieb und nach ca. 40 Minuten ebenso abrupt auf den alten Wert zurückfiel, sodass sich eine Art Rechtecksignal gebildet hatte. Es ist höchst unwahrscheinlich, dass sich ein Funker im Kopfhörerbetrieb solch intensiven Geräuschen über so einen relativ langen Zeitraum aussetzen kann. Dies wurde dahingehend interpretiert, dass aus Versehen die Lautstärke erhöht worden war und dann, nachdem das Missgeschick erkannt wurde, die ursprüngliche Einstellung wieder vorgenommen wurde. In der Konsequenz musste eine Interpolation durchgeführt und der falsch justierte Abschnitt herausgeschnitten werden, da andernfalls falsche hohe Ergebnisse daraus resultiert hätten. Dieser so korrigierte Datensatz reduzierte sich also um die ermittelten circa 40 Minuten (Abb. 11).



**Abbildung 11: Aufzeichnung der Messung Sprechfunk unter Kopfhörer in dB(A)**

Da durch das Messgerät nur der  $L_{Aeq}$  gemessen werden konnte, erfolgte unter Zuhilfenahme der bereits erwähnten Formel:

$$L_r = L_{Aeq} + K_l + K_T + 10 \log T/Tr \text{ db (A)}$$

die Umrechnung zum Beurteilungspegel ( $L_r$ ). Die Impuls- und Tonzuschläge ( $K_I$ ,  $K_T$ ) wurden nicht berücksichtigt, um die Vorgaben der DIN 45645 – 2, 6.4 einzuhalten. Als Ausgangswert lässt sich der  $L_{Aeq}$  mit 72,9 dB(A) festlegen. Der maximale Spitzenpegel ( $L_{peak}$ ) beschreibt einen Anstieg bis 111,4 dB(A).

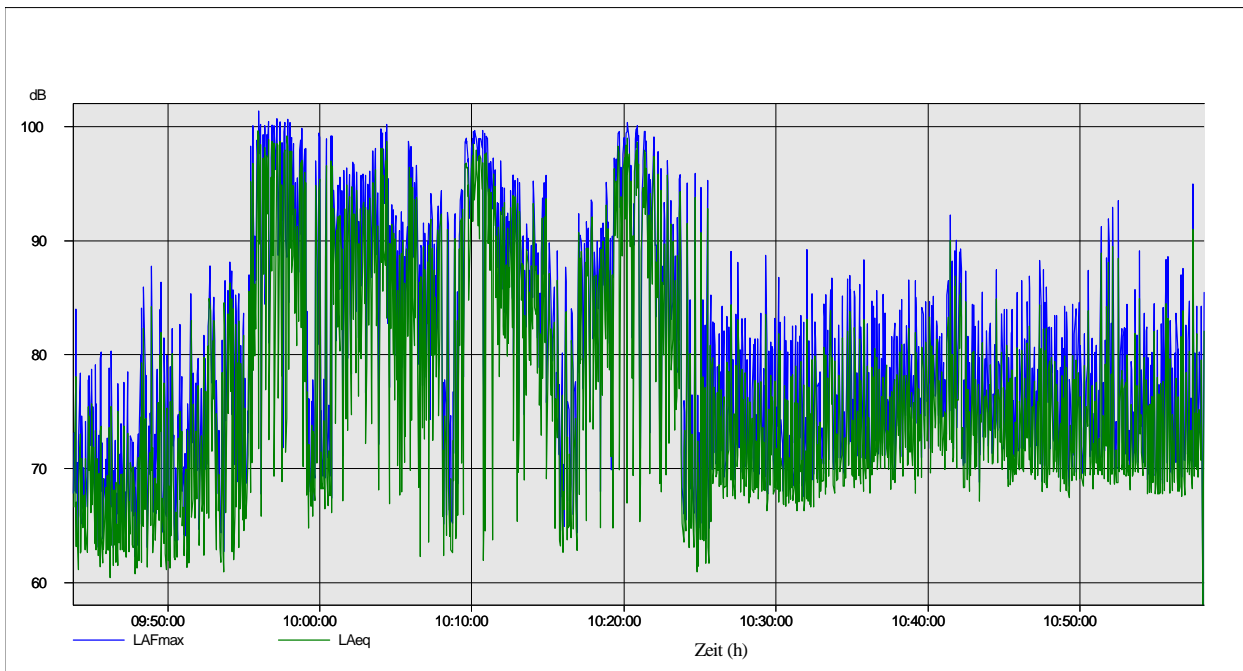
In der Umrechnung zur Bestimmung des Beurteilungspegels ergibt sich folgendes Bild:

$$L_r = 72,9 \text{ dB} + 10 \log 72/480 \text{ db}$$
$$L_r = 64,6 \text{ dB (A)}$$

Der so ermittelte Beurteilungspegel von 64,6 dB(A) kann eindeutig als nicht das Gehör gefährdend eingestuft werden, da der Gesetzgeber diese Grenze bei 85 dB(A) gesetzt hat. Gleiches gilt für den Spitzenpegel, der zwar mit 111,4 dB(A) einen deutlich höheren Wert einnimmt, jedoch gestattet der Gesetzgeber zurzeit einen Maximalpegel von 130 dB(A) (UVV „Lärm“, 2005), weswegen hier keine Überschreitung festzustellen ist und eine Gehörschädigung somit nicht stattfinden dürfte.

### 3.6.2 Schalldruckpegelmessung mit Kunstkopf, Tastfunk

In gleicher Vorgehensweise, wie bei der Messung des Sprechfunks, wurde bei der Ermittlung des Schalldruckpegels des Tastfunks vorgegangen. Wieder stellte ein erfahrener Erfasser eine diesmal den Tastfunk repräsentierende Frequenz ein. Ebenso wurde bei der Lautstärkewahl vorgegangen. Die Messung des Schalldruckpegels begann am 17.07.07. um 09.43 Uhr für zunächst 1 Stunde und 14 Minuten. Die grafische Darstellung ist untenstehend dargestellt.



**Abbildung 12: Aufzeichnung der Messung Tastfunk unter Kopfhörer in dB(A)**

Erkennbar ist ein zunächst moderater Pegel, der abrupt für mehrere Minuten auf Spitzenwerte von bis zu 112 dB(A) ansteigt, um danach dann wieder auf die vorherigen, niedrigeren Werte abzufallen (Abb. 12). In diesem Fall ist der Anstieg jedoch nicht abrupt, sondern beständig ansteigend und in der lauterer Phase auch inhomogen als Zeichen einer verstärkten Aktivität. Aus diesem Grund kann von einem Anfall stärkerer Funktätigkeit statt eines versehentlichen Lauterstellens ausgegangen werden. Trotzdem stellt sich wieder das Problem des eigentlich zu hohen Lautstärkepegels dar, denn auch diese Intensität von bis zu 30 Minuten kann, wenn auch durch leisere Abschnitte abgemildert, nicht über die gesamte Zeit gehört werden. Somit ist also die Beurteilung dieses nicht interpolierten Abschnittes sicherlich zu Gunsten der Funker erfolgt. Der zweite Teil der Dokumentation, von circa 11:04 Uhr bis circa 11:47 Uhr, der hier nicht wiedergegeben ist, ergänzt die vorgenannte Aufzeichnung und stellt im Wesentlichen nur eine Verlängerung der leiseren Phase ab circa 10:30 Uhr dar. Nur noch einmal kurz zeigt sich ein impulsartiger Anstieg bis max. 118,2 dB(A).

Wie zuvor fanden die bekannten Formeln und Berücksichtigungen der DIN-Vorgaben ihre Anwendung.

Für Teil eins:  $L_r = 86,9 \text{ dB} + 10 \log 74/480 \text{ dB}$

$$L_r = 78,6 \text{ dB (A)}$$

Für Teil zwei:  $L_r = 76,2 \text{ dB} + 10 \log 42/480 \text{ dB}$

$$L_r = 65,6 \text{ dB (A)}$$

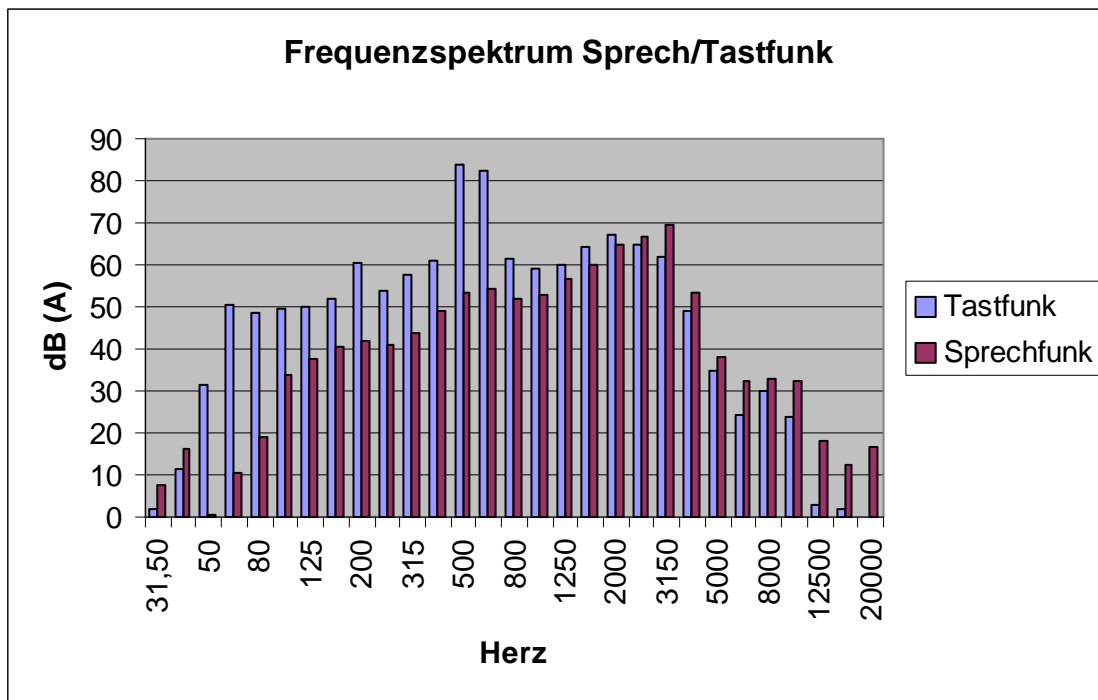
Addition beider Teile zur Ermittlung des  $L_r$  gesamt:

$$L_{r \text{ ges}} = 10 \times \log ( 10^{7,87} + 10^{6,5} ) = 78,88 \text{ dB}$$

Die Berechnung zeigte in beiden Fällen ebenfalls, dass die Grenze des erlaubten Beurteilungspegels von 85 dB(A) nicht erreicht wurde. Deutlich höhere Werte nahm auch hier der Spitzenpegel an. Die Ergebnisse in Teil eins erreichten 112,2 dB(A) und in Teil zwei sogar 118,3 dB(A). Diese Betrachtung lässt die erhebliche Diskrepanz zwischen den Beurteilungs- und Spitzenpegel erkennen, die nicht außer Acht gelassen werden darf, aber eine gefährdungsrelevante Dimension wurde ebenfalls nicht erreicht.

### 3.6.3 Frequenzspektrumanalyse Kunstkopfmessung

In einem weiteren, ergänzenden Schritt wurden die zuvor ermittelten äquivalenten Schalldruckpegel ( $L_{Aeq}$ ) nach ihrem Frequenzverteilungsmuster aufgeschlüsselt. Die Darstellung der Spitzenpegel ( $L_{max}$ ) war hierbei nicht notwendig und brauchte deswegen und auch zur Verbesserung der Übersicht nicht berücksichtigt werden. Die Einteilung in die Gruppen Tast- und Sprachfunk wurde beibehalten und dann vergleichend gegenübergestellt. Von Interesse war, ob sich eine Differenzierung nach höheren Frequenzen vor allem im Bereich zwischen 3 bis 6 kHz erkennen ließ.



**Abbildung 13: Gegenüberstellung Frequenzspektrum Sprech-/Tastfunk**

Bei beiden Übertragungsarten zeigt sich eine annähernde Verteilungskurve nach Gauss, deren jeweilige Gipfel aber an unterschiedlichen Frequenzabschnitten angesiedelt sind. Der Tastfunk stellt sein Maximum im Bereich um 500 Hz dar, wohingegen der Sprechfunk diesen bei circa 3000 Hz erkennen lässt (Abb. 13). Letzterer ist zwar insgesamt leiser ausgeprägt, befindet sich aber nahe an einem auf Lärmschädigungen bezogenen sensiblen Frequenzabschnitt. Keine der beiden Funkmethoden liegt jedoch mit ihrem Gipfel genau in dem noch zu untersuchenden Bereich zwischen 3 bis 6 kHz.

### 3.7 Otologische und audiometrische Ergebnisse

Die audiometrischen Untersuchungen verliefen nach dem den Probanden im Wesentlichen von vorherigen Hörtesten bekannten Schema. Zur Einleitung wurde die Einverständniserklärung besprochen und der Fragebogen gemeinsam bearbeitet und unter Umständen ergänzt. Hierzu gehörte die Erfragung nach alten HNO-spezifischen und vor allem otologischen Erkrankungen in der Vergangenheit. Eine Ohreninspektion mit dem Otoskop wurde bei positiver Anamnese oder nach Erhebung eines

pathologischen Befundes durchgeführt. Der Proband wurde auf die Untersuchung eingewiesen (Niemeyer, 1972), es wurde gegebenenfalls Hilfestellung geleistet, sodass der korrekte Sitz und die Anwendung der Messapparaturen gewährleistet war. Besonders bei der Anlage des Knochenhörers war eine Unterstützung notwendig, allein schon weil gerade diese Messung für die Beurteilung der Innenohrleistung wesentlich ist und bei den Probanden in der Vergangenheit routinemäßig nicht erfolgt war.

Auffällig war eine sehr rasche Auffassungsgabe der Probanden bezüglich der Versuchsanordnung und bei nicht Hörgeschädigten häufig auch ein ausgesprochen gutes Gehör, das heißt, dass die Prüftöne bereits sehr frühzeitig gehört wurden. Dies verwundert nur auf den ersten Blick, schließlich ist zu bedenken, dass die Tätigkeit der Funke ja genau darin besteht, Töne zu erkennen und einzustellen. Unter diesem Aspekt handelte es sich also um ein ideales Kollektiv für die Audiometrie. Vor und nach der Vermessung begaben sich die Probanden zurück in ihre Arbeitsbereiche und führten ihre Tätigkeit fort. Die Ergebnisse der Untersuchung wurden direkt eröffnet und teilweise, im Falle von pathologischen Befunden, eine weitergehende Diagnostik empfohlen.

Mehrere Probanden hatten vor der Erhebung zeitweise, wie bereits erwähnt, unter Tinnitus gelitten, sahen aber keinen akuten Behandlungsbedarf mehr und betrachteten die Therapie als beendet. In nur zwei Fällen bestand dieser noch weiter, jedoch hatte bei den betroffenen Probanden offensichtlich eine gute Bewältigung stattgefunden, sodass kein Leidensdruck mehr festzustellen war. Drei Probanden sahen einen Zusammenhang zum Dienstgeschehen. In keinem Fall beeinträchtigte der jeweilige Tinnitus die Messung.

Zwei Probanden berichteten, dass sie häufig nach dem Dienst oder vor dem Zubettgehen die täglichen Tastfunktöne weiterhören würden, wobei dann eine vorangehende Ruhephase nötig sei, um einschlafen zu können.

Zwei Untersuchende durchliefen gerade eine akute Rhinitis, die, wie die Messung zeigte, zwar eine Schallleitungsstörung verursachte, aber wie zu erwarten keine Auswirkungen auf die Knochenleitungskurve hatte.

Anamnestisch ließ sich ein Zustand nach Tympanoplastik und in einem weiteren Fall ein Zustand nach inzwischen ausgeheilter Trommelfellperforation vor mehreren Jahren feststellen, die aber ebenfalls keine Auswirkungen auf das Innenhörvermögen hatte. Ein Proband hatte einseitig Cerumen, das eine geringe Schallleitungsminde- rung verursachte, aber keinen Einfluss auf die Innenohrleistung nahm.



Bei drei Testteilnehmern zeigte sich eine deutliche beidseitige, symmetrische mediocochleäre Senke, die stark auf eine hereditäre Hörstörung hinwies. Die Betroffenen wurden über den Verdacht und das Krankheitsbild informiert und es wurde eine weiterreichende Diagnostik durch einen HNO-Facharzt empfohlen. Ein Teilnehmer zeigte einen seit Jahren bekannten, beidseitigen und symmetrischen Innenohrabfall, aufgrund dessen er sich bereits in HNO-ärztlicher Behandlung befand und eine Hörgeräteversorgung geplant ist.

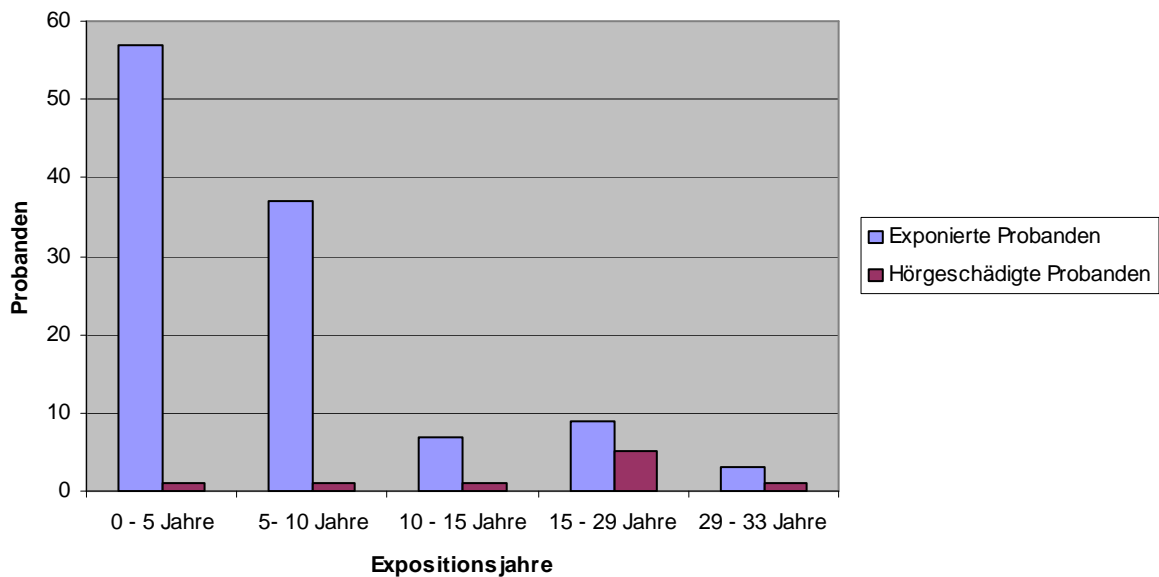
Bei starken Innenohrabfällen wurde fachgerecht eine Vertäubung durchgeführt, um ein Überhören der Gegenseite zu vermeiden. Dieses Vorgehen war den Probanden ebenfalls unbekannt und musste gesondert erläutert werden.

### **3.7.1 Analyse der Hörkurvenveränderungen**

Im gesamten Kollektiv der 113 Probanden fanden sich nach Abschluss der audiometrischen Vermessung 16 (14,1%) Personen mit auffälligen Ergebnissen, das heißt, unterschiedlich stark ausgeprägten Senken in den relevanten Hörkurvenabschnitten um 4 kHz, die zur Ermittlung von eventuellen lärmbedingten Hörschädigungen von Interesse waren (Abb. 14).

Die Genannten verteilten sich ungleichmäßig auf die verschiedenen Expositionsgruppen, aber es ließ sich eine eindeutige Häufung der Betroffenen in den Gruppen mit 15 und mehr Expositionsjahren feststellen, bei einer kontinuierlich abfallenden Gesamtprobandenanzahl. In dieser Gruppe, die 11 Personen des gesamten Kollektivs umfasste, waren allein acht Personen der insgesamt 16 mit Hörminderungen vertreten. Zur weiteren Spezifizierung mussten die Exponierten ausgenommen werden, die nur eine einseitige Hörminderung aufwiesen, da im Allgemeinen eine lärmbedingte Hörminderung nur beidseits auftritt (Feldmann, 2001, Brusis, 1999). Hiernach zeigt sich, dass nur noch acht Probanden diese Kriterien erfüllten. Auch nach dieser Eingrenzung des Kollektivs zeigte sich eine Häufung der Betroffenen mit fünf Personen in der Gruppe der zwanzig und mehr Jahre Exponierten.

Exponierte- vs. gehörgeschädigte Probanden



**Abbildung 14: Gegenüberstellung gesamtes Probandenkollektiv und Anteil Gehörgeschädigter**

Nach dem Ausschluss der Probanden ohne Eingangsaudiogramm erfolgte die Berechnung der Hörverluste nach einem linearen Regressionsmodell. Dabei wurden drei Regressionen ermittelt: Hörverlust rechts, Hörverlust links und Hörverlust beidseits. Die Signifikanzniveaus lassen sich folgendermaßen beschreiben: Ein P-Wert von  $< 0,01$  galt als hochsignifikant,  $< 0,05$  hingegen als signifikant.

Bei der Berechnung der Ergebnisse der Regression der maximalen Hörverluste gegen die gesamte Expositionszeit ließ sich eine hochsignifikante Verschlechterung der Hörleistung im Verlauf der Expositionszeit erkennen. In der rein linearen Darstellung auf die Gesamtzeitspanne stellte sich somit für alle drei Berechnungen ein Hörverlust von circa 0,3 dB pro Jahr dar (Abb. 15).

Rechts: P = 0.00036; linearer Hörverlust 0,33 dB pro Jahr

Links: P = 0,0066; linearer Hörverlust 0,28 dB pro Jahr

Rechts und links: P = 0,0002; linearer Hörverlust 0,355 dB pro Jahr

Bei der grafischen Darstellung hingegen zeigte sich jedoch, dass die Verschlechterung

nicht linear stattfand, sondern sprunghaft. Diese Veränderung findet zwischen dem 15. und 16. Expositionsjahr statt. Nach der Teilung in diese zwei Gruppen erfolgte die Einzelberechnung der Regression derselben.

Unterhalb 16 Expositionsjahre: Rechts und links:  $P = 0,932$ ; linearer Hörverlust von 0,01 dB pro Jahr

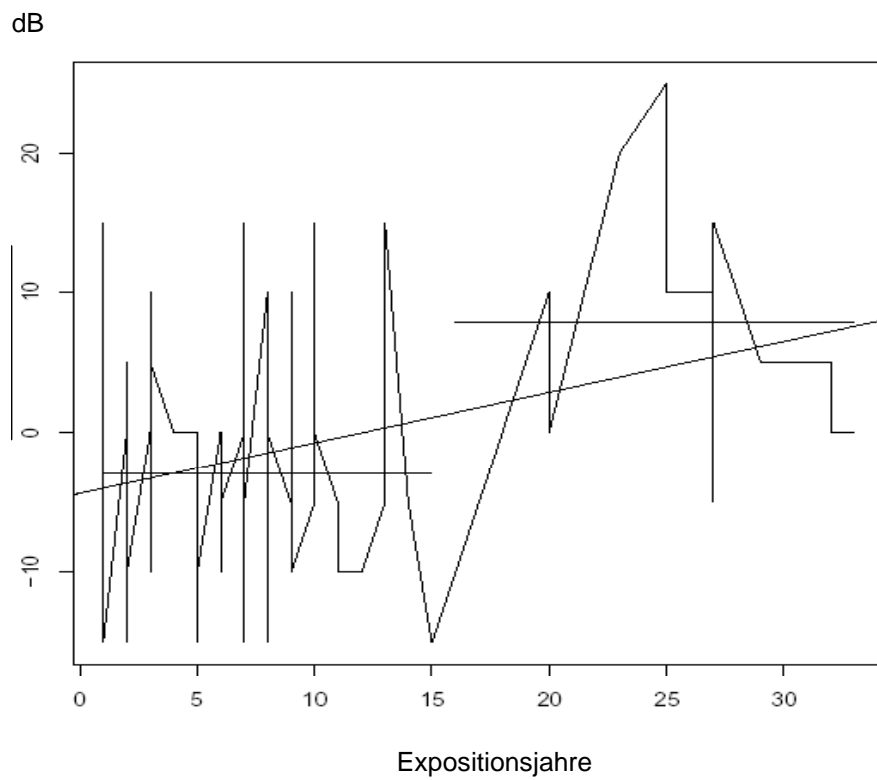
Oberhalb 15 Expositionsjahre: Rechts und links:  $P = 0,254$ ; linearer Hörverlust von 0,72 dB pro Jahr

Da bei den Probanden, die mehr als 15 Expositionsjahre aufweisen konnten, auffällige Audiogramme mit Hörverlust vorlagen, wurde diese Gruppe näher untersucht. Hierfür wurden weitere Audiogramme aus der G-Akte hinzugezogen (BRUSIS T, 1999), die während der Expositionsjahre zu unterschiedlichen Zeitpunkten angefertigt worden waren. Zusätzlich wurden die Probanden ausgeschlossen, die eingangs bereits unter einer Hörminderung litten. Mit diesem erweiterten Satz an Audiogrammen wurde eine erneute Berechnung nach dem oben angeführten Modell durchgeführt. Die bereits genannten Signifikanzniveaus hatten hierbei weiterhin Gültigkeit.

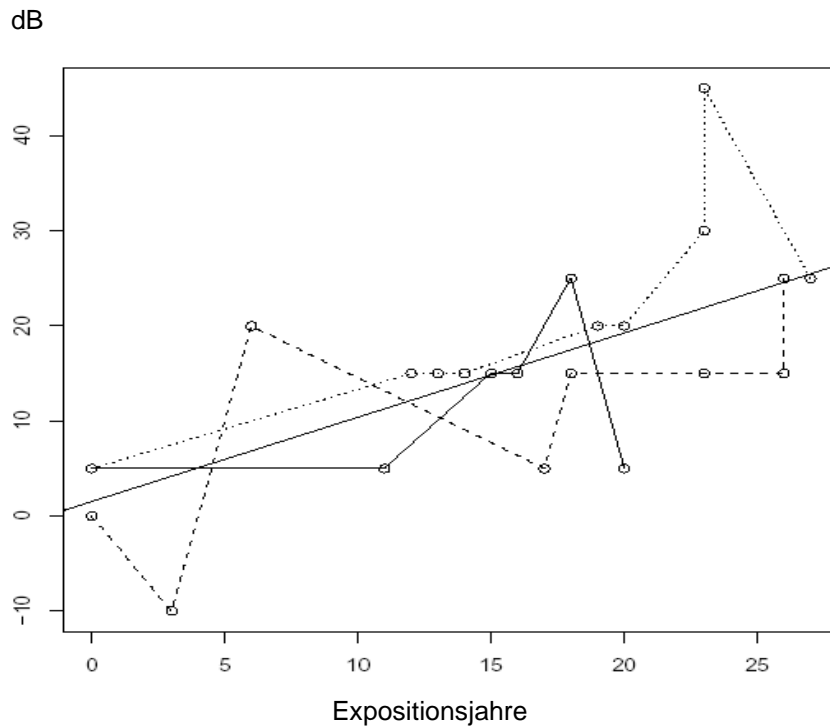
Links:  $P = 0,0006$ ; linearer Hörverlust von 0,80 dB pro Jahr

Rechts:  $P = 0,0005$ ; linearer Hörverlust von 0,88 dB pro Jahr

Nach Aufgliederung in die einzelnen Gruppen zeigt sich für die mehr als 15 Jahre Exponierten ein hochsignifikanter Hörverlust von circa 0,8 dB pro Jahr seit Expositionsbeginn (Abb. 16).



**Abbildung 15: Darstellung Regression maximaler Hörverlust gegen Expositionszeit gesamtes Probandenkollektiv**



**Abbildung 16: Darstellung Regression maximaler Hörverlust gegen Expositionszeit > 15 Jahre**

### 3.8 Sonstige Belastungsquellen

Bei der Befragung gab des Weiteren eine Person an, unter der Bildschirmtätigkeit zu leiden. Dieses äußere sich in einem Anstrengungsgefühl und gelegentlichem Augenbrennen. Die Inspektion des Betriebsbereiches zeigte, dass als Monitore alte Röhrengeräte im Einsatz sind, aber auch teilweise bereits Flachbildschirme eingeführt wurden. Da nur eine Nennung sehr wenig ist, um daraus eine generelle Überbelastung abzuleiten, kann diesbezüglich zunächst keine definitive Aussage getroffen werden. Trotzdem ist die noch teilweise Ausstattung mit Röhrengeräten als nicht mehr dem aktuellen Stand entsprechend zu bezeichnen.

Ein weiterer Proband führte an, durch den allgemeinen Geräuschpegel unter Migräne zu leiden. Die ist grundsätzlich möglich, da Migräneattacken durch sehr unterschiedliche Reize getriggert werden können.

Bei der Eruiierung von thermischen Belastungen konnte nur eine, bereits erwähnte, subjektive Beeinträchtigung durch die Temperatureinstellung der Klimaanlage ermittelt werden.

#### **4 Diskussion und Schlussfolgerungen**

In der vorliegenden Dissertationsschrift wurde eine arbeitsmedizinisch-wissenschaftliche Studie an Funkern eigenständig geplant, durchgeführt und analysiert. Dabei wurde eine Funkereinheit der Bundeswehr im Großraum Berlin einer spezifischen Gefährdungsanalyse unterzogen. Innerhalb der Arbeit lag eine besondere Intention darin, die Belastung des Gehörs zu untersuchen und eventuelle lärmschädigende Komponenten des täglichen Dienstes zu ermitteln.

Insgesamt wurde ein Kollektiv von 113 Probanden untersucht und befragt, das sich aus 96 (84,9 %) Männern und 17 (15,0 %) Frauen zusammensetzt. Hierbei handelte es sich überwiegend um Soldaten, wobei 12 Personen (10,6 %) zivile Mitarbeiter waren. Aufgrund der in den letzten Jahren zunehmenden Öffnung der Streitkräfte für Frauen hat auch in dieser Einheit eine Zunahme des Anteils der weiblichen Mitglieder stattgefunden. Der Frauenanteil liegt in dieser Einheit jedoch deutlich über dem Gesamtanteil der Bundeswehr, der mit 13600 Soldatinnen ungefähr 7 % beträgt (Weißbuch BMVg, 2007). Aufgrund des freiwilligen Charakters nahmen mehrere Funker nicht an der Studie teil. Die Gründe hierfür waren nur teilweise zu klären, da die meisten dieser Probanden der Befragung nicht zugänglich waren. Teilweise wurden die Gründe der Nichtteilnahme durch teilnehmende Probanden weitergegeben. Natürlich ist die objektive Verwertung dieser Aussagen nur sehr eingeschränkt möglich. So sahen einige der Nichtteilnehmer die Sinnhaftigkeit der Untersuchung nicht gegeben, da ja regelmäßig die arbeitsmedizinischen Untersuchungen durchgeführt wurden oder es kam eine frustrane Grundeinstellung zum Vorschein, die sich auch bei einigen der Teilnehmer zeigte. Hauptsächlich wurden in diesem Zusammenhang erwähnt, dass die Missstände bekannt seien, aber doch nicht abgestellt würden. Eventuelle Verbesserungen, die aus den Ergebnissen der Studie resultieren könnten, würden erst nach Jahren der Vorbereitung eingeführt und dann den Probanden nicht mehr zugutekommen. Zu erwähnen ist die Vermutung, dass sicherlich zu einem gewissen Prozentsatz auch die Furcht vor negativen Konsequenzen wie zum Beispiel Versetzungen mitspielten und eine Verweigerungshaltung bahnte.

Mit Sicherheit konnte ausgeschlossen werden, dass von Vorgesetzten oder übergeordneten Dienststellen Druck ausgeübt wurde, um die Teilnahme zu behindern. Da von Seiten der Bataillonsführung ohnehin geplant war, eine intensivere Analyse der

Belastung der Funker durchzuführen, wurde die Teilnahme ausdrücklich unterstützt, was durch die Organisation der Untersuchungsabläufe deutlich wurde. Ohnehin wäre die gesamte Durchführung ohne die Zustimmung des leitenden Offiziers nicht möglich gewesen. Im gleichen Zuge ließ sich erkennen, dass man sich auf eben dieser Ebene der Problematik bewusst war und trotz der regelmäßigen arbeitsmedizinischen Untersuchungen (Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen G 20 Lärm, 1981, Arbeitsschutzgesetz, 1996, Richtlinie 2003/10 EG, 2003) nicht sicher war, ob nicht doch eine Gefährdung für die Soldaten und Mitarbeiter von der Tätigkeit ausging (Persönliches Gespräch, 2007). Dies äußerte sich in dem Versuch, mit eigens hergestellten Lärmschutzwänden die Schallpegel zu reduzieren und mit neu beschafften Schalldruckpegelmessern die Räume zu vermessen. Somit konnte den führenden Offizieren sicherlich bescheinigt werden, verantwortungsvoll und im Sinne der anvertrauten Funker zu agieren (VMBL 1993, Arbeitsschutzgesetz, 2004), obwohl dem Handeln auch Grenzen gesetzt waren, hauptsächlich bedingt durch Mangel an finanziellen Mitteln und Personal. Bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen zeigte sich bei der Mehrzahl der Bereiche nur ein marginales Gefährdungspotenzial. Die Gestaltung der Räumlichkeiten musste sich eng an die Vorgaben der militärischen Sicherheit orientieren. Trotzdem wurden auch aus dem zivilen Bereich bekannte Auflagen, wie die Schaffung von Sozialräumen und diesbezügliche Vorgaben zur Lärmbelastung, in denselben erfüllt. Die geforderten maximalen Beurteilungspegel von 55 dB(A) in den Sozialräumen wurden nicht überschritten (VMBL 1993, VBG 121 1990). Sie sind hell, ausreichend groß und relativ rasch zu erreichen. In Bezug auf die Betriebsbereiche ist jedoch eine Ausstattung mit Fenstern zu empfehlen. Hierdurch könnte unter anderem die Tageszeit aufgenommen und der zirkadiane Rhythmus unterstützt werden. Im Übrigen kann im Idealfall durch dann eventuell mögliche Blicke in die Ferne eine Entspannung erzeugt werden, immerhin wurde ja gelegentlich über Akkommodationsschwierigkeiten nach den Diensten am Monitor berichtet. Inwieweit diese Nachrüstung mit Fenstern jedoch sowohl technisch als auch finanziell realisierbar ist, bleibt noch zu eruieren. Da dies jedoch in mindestens einer Partnereinheit realisiert sein soll, dürfte die militärische Sicherheit demnach nicht grundsätzlich gegenüber stehen. Nicht zu verändern ist die Geräuschkulisse, die bei der Ausdehnung der so genannten „Cages“ entsteht. Eine Blechumhüllung dieser Dimension unterliegt den physikalischen Eigenschaften des verbauten Metallblechs und kann auch durch eine in Relation stehende Isolation nicht



vollständig abgedämmt werden. Sicherlich ist aber festzuhalten, dass keine gehörschädigenden Schallpegel durch die Ausdehnungsgeräusche erreicht werden. Ein wesentlicher Punkt ist die Klimatisierung der Arbeitsbereiche. Die Klagen über zu trockene und zu kalte Belüftung sind auch in nicht militärischen Arbeitsbereichen sehr verbreitet. Hinzu kommen die Beschwerden über die Strömungsgeräusche. Hier bleibt nur die Chance der genauen Einstellung der Steuerungselektronik, die aber höchstens eine Optimierung, jedoch keine volle Zufriedenheit erreichen kann. Eine Schwingungsdämpfung wurde durch die betreuende Firma durchgeführt. Zu bedenken ist, dass die Funker, je nach Arbeitsplatz, unterschiedlich weit von den Austrittsöffnungen der Lüftungskanäle entfernt sitzen und deswegen der austretenden Luft und in der Folge auch der Trockenheit, den Geräuschen und den Temperaturen unterschiedlich stark ausgesetzt sind. Hinzu kommen natürlich individuell sehr unterschiedliche Ansichten und Vorlieben bezüglich eines Raumklimas. Deswegen sollten Umsetzungen der Funker im Raum versucht werden, um damit unterschiedliche Abstände zu den Öffnungen zu schaffen. In Ergänzung können die eingesetzten Funker dieser Anforderung nur durch die Anpassung geeigneter Kleidung begegnen. Die beklagten Beschwerden wie trockene Nasenschleimhaut und Augen bei Kontaktlinsenträgern sind symptomatisch zu korrigieren. Unter Berücksichtigung der nur geringen Anzahl der darunter Leidenden ist dies zu vertreten. Die Anwendung von Nasensalben oder anfeuchtenden Nasensprays über lange Zeiträume ist möglich, ohne Schaden zu verursachen (Albegger, 1992). Im Hinblick auf die Augenproblematik bleibt neben der Anwendung von befeuchtenden Tropfen (Kanski, 2004) die Benutzung von Dienstbrillen anstatt Kontaktlinsen, die dem Soldaten auf Wunsch kostenlos in der benötigten Dioptrienstärke zur Verfügung gestellt werden können (FAN San 2004). In Ergänzung empfiehlt es sich den Probanden, die Augenbrennen beklagt hatten, einem Augenarzt vorzustellen, um nicht eine latente Visusminderung zu übersehen. Zur weiteren Diagnostik bei den beklagten Beschwerden wie Tinnitus und Migräne sollten die entsprechenden Fachärzte konsultiert werden. Die Migräneauslösung kann unter Umständen durch psychische Faktoren, in diesem Falle die subjektive Dienstbelastung, ausgelöst werden (Mummenthaler und Mattle, 2002).

Die räumliche Gestaltung der Arbeitsbereiche kann nur im sehr begrenzten Maße bestimmt werden, da auch hier Vorgaben der militärischen Sicherheit eine wesentliche Rolle spielen. Zumindest sollte jedoch versucht werden, die Räume durch das Einziehen von Zwischenwänden kleiner zu gestalten und reflexionsarme Materialien zu

verbauen (Niemeyer, 1998, Richtlinie 2003/10 EG, 2003). Ein Versuch hierzu stellt sicher die Aufstellung von Schallschutzwänden dar, allerdings können diese nur als effizient betrachtet werden, wenn sie unter fachlicher Beratung konstruiert werden, wobei die Hinzuziehung eines Bauphysikers oder Akustikers sinnvoll wäre. Vorausgehen sollte dann eine genaue Vermessung der Raumakustik. Erkennbar ist hier jedoch die Problematik der finanziellen Belastung, die zurzeit nicht gegenfinanzierbar ist.

Ein wesentlicher Punkt zur Verringerung der Belastung der Erfasser ist die offensichtlich zu geringe Personalstärke. Wie bereits erläutert, sind im Laufe der Jahre mehrere Arbeitsplätze, im Durchschnitt vier, zu jeweils einem zusammengefasst worden. Dies liegt zum einen an der Reduktion der Sollstärke der Streitkräfte und zum anderen am mangelnden Nachwuchs. In der Folge ergab sich mit fast improvisiertem Charakter die Zuständigkeit eines Funkers für bis zu vier Arbeitsplätze und entsprechend eine Erhöhung der Geräusch- und sicherlich auch der psychischen Belastung durch das „Hochpendeln“ der Geräte. Somit bleibt zur Lösung dieses Grundproblems nur die Einstellung weiterer Funker oder die Reduktion der Aufträge. Selbstverständlich können diese Entscheidungen nicht durch die Einheit selbst herbeigeführt werden, sondern unterliegen letzten Endes politischen Entscheidungen und Planungen.

Eine Vorgabe, die die Besetzung der Funkbereiche spaltet, ist die Anordnung, generell Kopfhörer zu tragen. Wie bereits erwähnt, wird dem Befehl zwar Folge geleistet, allerdings empfinden 55,6 % das Tragen als unangenehm. Im Idealfall wären bei einer Verkleinerung der Räume und folgender Reduktion der Geräteanzahl die Benutzung der Kopfhörer zur Lärmreduktion nicht mehr zwingend nötig, da weniger Geräte natürlich auch weniger Geräusche emittieren. Bei einem dann zu erwartenden verringerten Schallpegel sollte die Benutzung der Kopfhörer den Funkern wieder freigestellt werden, um die Provokation von lokalen Infekten zu vermeiden (Weerda, 1993) und um den Betroffenen die Möglichkeit zu geben, auf die jeweils subjektiv unterschiedlich empfundenen akustische Belastung individuell reagieren zu können. Hierzu zählt auch die Wahl des Kopfhörertyps, denn das genannte Problem des mechanischen Drucks durch die Muffen kann je nach Baumuster, offen oder geschlossen, sehr unterschiedlich ausgeprägt sein.

Schwierig zu beheben ist die Eigenschaft von plötzlichen Lautstärkespitzen oder Impulsen, die häufig durch Witterungseinflüsse, atmosphärische Störungen oder laute Stimmen (Patel und Broughton, 2002) verursacht werden. Diesen ist der Erfasser als

Kopfhörerbenutzer am intensivsten und nahezu ungeschützt ausgesetzt. Laut Aussage einiger Funker soll diese Problematik sich bei den Funkgeräten neuerer Bauart verstärkt haben, da die Töne damit einen eher kreischenderen Charakter angenommen haben. Ein Gegenregeln sei bei älteren Geräten einfacher möglich gewesen. Sicherlich kann keine Rückkehr zu den älteren Modellen erfolgen, allerdings besteht theoretisch die technische Möglichkeit, durch so genannte Kompressor-, Limiter- oder Diodenschaltungen eine Pegelbegrenzung vorzunehmen, wie ein Gespräch mit Ingenieuren der Bundeswehr erbrachte. Je nach Schaltung kann damit eine Pegelbegrenzung erreicht werden (Richtlinie 2003/10 EG, 2003), die aber teilweise mit einem Qualitätsverlust einhergehen könnte. Dies muss in der Praxis beurteilt werden. Auch hier stellen die finanzielle Realisierbarkeit und die Dauer bis zur eventuellen Einführung in die Truppe einen limitierenden Faktor dar. Im Rahmen eines weiteren persönlichen Gespräches ließ sich in Erfahrung bringen, dass mit diesem Wunsch bereits an die Gerätehersteller herangetreten wurde, aber bis heute Funkgeräte mit den gewünschten Zusatzausstattungen nicht konstruiert werden konnten. Es konnte nicht geklärt werden, warum dies so ist. Womöglich können sich bei der geringen Stückzahl die Entwicklungskosten nicht amortisieren. Tatsächlich haben die Funker die Problematik der Impulsspitzen in allen Bereichen, ob Tast-/Sprechfunk, mit oder ohne Kopfhörer angegeben und es stellt sich somit als eine der maßgeblichsten Gründe für Klagen dar. Zweifelsohne wurden in diesen Messreihen keine schädigenden Impulsschalldruckpegel erreicht, allerdings wurde und wird trotz eindeutiger Gesetzeslage das Problem der Impulslautstärken und deren Grenzwerte immer wieder diskutiert (Walker, 1970, Voigt, Godenhielm, Östlunde, 1980, Cluff, 1982).

Nach der Erhebung der subjektiven Beschwerden war auch die objektive Feststellung der Lautstärken eine der wesentlichen Aufgaben der Studie. Aus diesem Grunde erfolgte eine Vermessung der Schallpegelbelastung der Arbeitsbereiche und -plätze in unterschiedlicher technischer Anordnung. Hierfür wurden die Raumbelastung und jene direkt an den Geräten mit oder ohne Kopfhörerbenutzung gemessen und die aktuellen Richtlinien berücksichtigt (VMBL 1993, VDI Richtlinie 2058 1988, VBG 121 1990).

Bei der Raummessung ließ sich hierbei die längste Aufzeichnungsphase durchführen, da das verwendete Gerät die größte Kapazität aufwies. Dieses entsprach der DIN 45645-2 und wurde bereits in der Vergangenheit durch die Einheit wiederholt zur Schallpegelmessung benutzt. Auch bei den vorherigen Messungen, die teilweise auch unter Aufsicht des Betriebsmediziners erfolgten, konnten keine gehörschädigenden

Pegel festgestellt werden. Zwar war hiermit nur der Mittelungspegel und nicht der Beurteilungspegel bestimmbar, da dieser jedoch deutlich niedriger als der Grenzwert lag, konnte eine Gefährdung sicher ausgeschlossen werden (VBG 121 1990, Richtlinie 2003/10 EG, 2003). Problematisch ist zu nennen, dass ein Gerät dieses Typs nur sequenzweise misst und aufzeichnet. Somit wird zwar bei kontinuierlichen Schallkulissen ein guter Mittelwert dargestellt, plötzliche Schallspitzen können aber unter Umständen, wenn sie in eine Nicht-Messphase fallen, verborgen bleiben. Es ist also sinnvoll, solche Messungen häufig zu wiederholen, um auf diesem Wege insgesamt möglichst lange Aufzeichnungen zu erhalten und „stumme“ Pegelspitzen zu erkennen. Die grafische Darstellung zeigt aber, dass trotz dieser unterbrochenen Aufzeichnung immer wieder Signalspitzen einbezogen werden konnten, weswegen von einem guten Mittelungswert auszugehen ist. Interessant ist die der Pegel im Vergleich zur Registrierung direkt vor dem Funkgerät. Der Raumpegel liegt etwas höher, was verschiedene Ursachen haben kann. Zum einen ist es möglich, dass, da beide Messungen zu verschiedenen Zeiten durchgeführt wurden, eine andere Funkaktivität geherrscht haben kann, zum anderen muss bedacht werden, dass die Raumgeräusche aus einer Mischung verschiedener Funkgeräte mit unterschiedlichen daran eingestellten Frequenzen bestehen. Hinzu kommen dann noch allgemeine Geräusche wie Gespräche, Lüftungsgeräusche, Telefonklingeln und Ähnliches, das zu einem anderen Spektrum als direkt am Erfasserplatz führt. Obgleich speicherkapazitätsbedingt mit zeitlichen Lücken gemessen wurde, finden sich immer wieder Spitzenwerte, die in ihrer maximalen Ausprägung bis knapp über 92 dB(A) ansteigen. Als reiner Wert wäre eine gehörschädigende Wirkung erreicht, allerdings wird der Impulswert hinsichtlich seiner gehörschädigenden Potenz nicht mit dem Beurteilungs- oder auch Mittelungspegel gleichgesetzt, sondern Zuschläge gewährt aufgrund derer der Spitzenwertpegel ( $L_{peak}$ ) von 140 dB(A) (DIN 45645-2, 1997, VDI 2058, 1988), nicht erreicht wird. Einige Studien haben jedoch auch gezeigt, dass Werte unterhalb dieser Grenzen eine schädigende Potenz besitzen können (Pekkarinen, 1989) oder bei gleichem Schalldruckpegel der Impulston sogar schädigender als ein Dauerton wirkt (Zhao et al. 2006). Allgemeingültig werden aber die genannten Grenzen anerkannt (Price, 1979, Cluff, 1982, Konietzko und Dupuis, 1991, Starck, Toppila, Pyykkö, 2003).

Zur weiteren systematischen Analyse der Schalldruckpegel nach den Emissionsquellen erfolgte die Messung der Werte unter dem Kopfhörer. Zuvor erfolgte eine Trennung der Messungen in jeweils einen Arm nach Sprach- und Tastfunk. Problematisch war die

Einstellung der Lautstärke, die durch einen erfahrenen Funker „nach Gefühl“ vorgenommen wurde. Da das ausgewählte Gerät nur für diese Erfassung verwendet wurde, und keine Funker gleichzeitig daran ihren Dienst versahen, konnte keine laufende Kontrolle der Lautstärke durchgeführt werden. Es war also möglich, die Standardlautstärke eines Funkers zu messen, aber die dynamische Regelung, also zum Beispiel Herunterregelung bei plötzlich lauten Impulsen oder bei sich intensivierendem Funkverkehr, unterblieb in dieser Versuchsanordnung. Im Ergebnis wurde also zu Gunsten der Funker gemessen, denn es ist äußerst unwahrscheinlich, dass ein Erfasser eine über mehrere Minuten andauernde laute Phase von zum Beispiel bis zu 100 dB(A) ertragen würde, ohne gegenzuregulieren. In der Berechnung des Beurteilungspegels ergab sich somit ein um diesen Betrag erhöhter Wert, der aber immer noch unter dem Grenzwert von 85 dB (A) lag. Etwas anders verhielt es sich bei der Beurteilung der Aufzeichnung des Sprechfunks. Hier wurde eine einem Rechtecksignal ähnliche Lautstärkeanhebung herausgeschnitten, da eine Fehleinstellung offensichtlich war. Eine Kontrolle der Lautstärkeeinstellung war offenbar erst nach etwas längerer Zeit erfolgt. Es gilt die gleiche Feststellung, dass eine derartige Intensität nicht über mehrere Minuten unter dem Kopfhörer verfolgt werden kann. Danach wurde auch hier der Grenzwert nicht erreicht. Im Folgenden war nun noch eine vergleichende Betrachtung von Tast- und Sprechfunk notwendig. Diese ließ erkennen, dass der Pegel des Tastfunks höher als der des Sprechfunks lag. (Sprechfunk: 64,6 dB(A), Tastfunk 78,8 dB(A)). Offenkundig könnte also eine Verbesserung der Messmethode ein präziseres Ergebnis herbeiführen (Pekkarinen und Starck, 1986), wenn auch nicht zu erwarten wäre, dass danach Grenzwertüberschreitungen gemessen werden könnten. Die Literatur zeigt, dass bereits mehrere Studien durchgeführt wurden, die die Methoden beschreiben oder anwenden, um Schallpegel unter Kopfhörern zu messen (Dajani, Kunov, Seshagiri, 1996, Kunov, Giguere, Simpson, 1989, Macrae, 1995, Van Moorhem et al. 1996). Bei allen erfolgte der Einbau von kleinen Mikrofonen in die Kopfhörermuffen. Eine andere Möglichkeit wäre der parallele Anschluss eines zweiten Kopfhörers, der dann auf einen Kunstkopf gesetzt wird und den laufenden Betrieb speichert (Williams und Presbury, 2003). Mit beiden Methoden ist es möglich, im täglichen Betrieb, das heißt während der tatsächlichen Anwendung, durch den Träger im Real-Time-Verfahren Schalldruckpegel mitzuschreiben. Hierbei könnten dann auch aktuelle Gegenregulationen erfasst werden. Bezogen auf die Studie wäre zu erwarten, dass die Pegelspitzen herunterreguliert, aber

auch durchaus bei Signalen, die der Erfasser besser hören möchte, hochjustiert werden würden. Trotzdem ist, wie schon erläutert, nicht zu erwarten, dass extrem laute Abschnitte länger gehört würden, es im Resultat also höchst wahrscheinlich ist, zu einem insgesamt etwas geringeren Beurteilungspegel zu kommen.

Die Lärmbelastung durch Kopfhörer in den unterschiedlichsten Anwendungsgebieten und Nationen ist keine neue Erkenntnis. Für den Bereich der fliegenden Einheiten, hier speziell Piloten, die Kommunikationskopfhörersets benutzen, wurde bereits eine Gefährdung erkannt und Maßnahmen zur deren Abstellung empfohlen (Matschke, 1987, 1988, Ribera et al. 1996). Die Konzentration auf die Untersuchung der Tätigkeit der Funker ist jedoch eher selten (Holmes, 1998).

Die bisher in dieser Studie gewonnenen Daten haben gezeigt, dass nicht von einer Gefährdung auszugehen ist. Trotzdem würde es sinnvoll erscheinen, prophylaktisch Sicherheitsmechanismen einzurichten, um unerwartete Spitzenpegel abzufangen und damit den Komfort des Funkers zu verbessern. Auch wenn diese unter den Grenzwerten liegen, könnten sie doch erhebliches Unbehagen auslösen. Die zuvor erwähnten Kompressor- und Diodenschaltungen wären ein erster Schritt. Zusätzlich könnte man die Kopfhöreremissionsleistung begrenzen. Diese liegt bei den zurzeit verwendeten Typen um 140 dB, was ja eine Impulsschädigung nach allgemeiner Meinung ohnehin verhindert (DIN 45645-2, 1997, VDI 2058, 1988, Maue, 1988), und könnte auf niedrigere Pegel gesenkt werden. In Großbritannien existiert eine Begrenzung auf 118 dB, die durch gesetzliche Bestimmungen festgelegt ist (Patel und Broughton, 2002). Problematisch wäre allerdings die zeitliche Umsetzung im militärischen Betrieb, da solche Änderungen der Vorgaben durch Vorschriftenergänzungen abgesichert werden müssten und die Einführung infolge dessen Jahre dauern könnte. Hinzu käme die Frage nach der Akzeptanz durch die Anwender, die zu Anfang sicher nicht von jedem erwartet werden könnte, da der Erfasser ja in den Möglichkeiten zur Einstellung leiser Frequenzen eingeschränkt werden würde. Beschreibungen aus den 80er Jahren zur Entwicklung von aktiven Lärmkompensationssystemen wie für die Verwendung in Flugzeugcockpits (Matschke, 1988) oder selbst adjustierende Filtersysteme (Graupe, Grosspitsch, Taylor, 1986), die häufig in Verbindung mit Lärminderung bei Kopfhörerbenutzern genannt wurden, sind teilweise eingeführt, können aber hier keine Anwendung finden. Hierbei eröffnen die neueren Modellentwicklungen zwar interessante Optionen, aber sie dienen mehr dazu,

Lärm in Kommunikationskopfhörern (Zera, Brammer, Pan, 1997, Gower und Casall, 1994) oder Belastungen wie sie typischerweise beim Schießen auftreten herabzusetzen (Dancer et al. 1999) und sind nicht auf Sets zu übertragen, die wie bei den Funkern dieser Einheit nötig sind, um feine und sehr komplexe Frequenzunterschiede zu differenzieren. Nachdem festgestellt werden konnte, dass keine gesundheits-schädigenden Schalldruckpegel erreicht wurden, musste ein weiterer Faktor zur Lärmbegutachtung mit in die analysierende Betrachtung einbezogen werden. Neben der unmittelbar gehörschädigenden Potenz können Lärm oder Geräusche auch Stressoren sein, die zwar nicht unmittelbar am Ohr Schaden verursachen können, aber auf einen Arbeitnehmer belastend einwirken. Laut den Vorschriften der Bundeswehr und UVV Lärm sollte dieser Beurteilungswert 55 dB(A) nicht überschreiten (VMBL 1993, UVV Lärm 1997) und die ISO-Norm 11690-1 empfiehlt sogar 45 dB(A) als Grenzwert (DIN EN ISO 11690-1, 1996) einzuhalten. Bis 55 dB(A) sind demnach zulässig bei „... überwiegend geistiger Tätigkeit ...“ und 70 dB(A) „... bei einfachen oder überwiegend mechanisierten Bürotätigkeiten und vergleichbaren Tätigkeiten ...“ Die beschriebene Erfassertätigkeit ist sicherlich keine monotone, sondern eine ständige Aufmerksamkeit fordernde Aufgabe. Es gilt damit der Grenzwert von 55 dB(A). Selbst wenn man 70 dB(A) als maximale Belastung akzeptieren könnte, wäre eine Überschreitung am Tastfunktionsplatz ebenfalls gegeben. Im Resultat ist damit, auch wenn keine Gehörschädigung droht, der von der Vorschrift in dieser Hinsicht geforderte Lärmschutz am Arbeitsplatz nicht erfüllt.

Neben der Vermessung der Arbeitsplätze ist die zweite Säule dieser Studie die Bestimmung der messbaren, gegebenenfalls vorhandenen Hörminderungen gewesen. Zwar war keine gehörschädigende Potenz der Schallpegel feststellbar, aber es ist zu berücksichtigen, dass ja nur eine Überprüfung der gegenwärtigen Situation möglich war. Sollten sich also in der Vergangenheit aus unbekanntem Gründen Lärmschädigungen manifestiert haben, könnten diese durch die audiometrische Untersuchung sichtbar gemacht werden (Lehnhardt 2001, Arnold und Ganzer, 1999). Hierbei muss berücksichtigt werden, dass es sich bei dem Reintonaudiogramm um einen subjektiven Test zur Differentialdiagnostik handelt (Brusis, 1999) und die vollständige und vertiefende Diagnostik die Erweiterung um subjektive Tests wie die Sprachaudiometrie (Schimanski, 1981) und objektive Tests wie die OAE, TEOAE (Konopka et al. 2005, Pawlaczyk et al. 2004) und DPOAE darstellt (Schwarze, Notbohm, Gärtner, 2005). In Kenntnis dessen wurde den Richtlinien der

arbeitsmedizinischen Vorsorge entsprechend vorgegangen (VBG 100, 1993, VDI 2058, 1988) und diese Testform gewählt.

Nach Durchführung der Testreihen und deren Auswertung konnte festgestellt werden, dass bei den Probanden mit bis zu 15 Expositionsjahren keine nennenswerten Veränderungen zu registrieren waren, sich dies aber deutlich jenseits dieser Expositionszeit ändert. Problematisch ist der sprunghafte Charakter der Veränderungen zu werten. Wenn auch eine Lärmschwerhörigkeit, je nach Interpretation, etwas unterschiedlich klassifiziert wird (ISO 1999-1990, 1990, VDI Richtlinien 2058, 1988, Schwetz, 1978), ist doch offensichtlich eine signifikante Hörminderung erkennbar gewesen. Da aber bei den bis 15 Jahre Exponierten keine Veränderungen nachweisbar waren, könnte zum damaligen Zeitpunkt ein relativ abrupter Wandel in der Belastung stattgefunden haben, denn es wäre im Falle einer kontinuierlichen Belastung ein, wenn auch dezentes, aber kontinuierlich langsames Absinken der Hörschwelle zu erwarten gewesen (ISO 1999-1990, 1990, Welleschik und Raber, 1978). Erkennbar war dies aber nur bei den mehr als 15 Jahren Exponierten, wie die statistische Berechnung dargelegt hatte. Denkbar wäre, dass vor 15 bis 20 Jahren eine Verringerung der Schalldruckpegel stattgefunden hat. Die Befragung von Mitgliedern der Einheit, die seitdem bis heute noch in der Einheit aktiv sind, brachte aber nur die Information zu Tage, dass bis circa 1992 Kopfhörer zwingend getragen werden mussten. Unter Umständen könnte hierin die Begründung liegen, obwohl daran erinnert werden muss, dass unter Kopfhörern nur beim Tastfunk und nicht beim Sprechfunk die stärksten aller gemessenen Schallpegel erreicht wurden. Legt man das empirische Hörverlust-Modell der ISO 1999 zu Grunde, welches die Wahrscheinlichkeitsverteilung eines Hörverlustes je nach Lärmexposition darlegt (ISO 1999-1990, 1990), könnte auch bei den unter 15 Jahren Exponierten eine leichte Hörminderung feststellbar sein. Dies ist aber nicht der Fall. Um weitere Erkenntnisse über noch unbekanntes, gehörschädigende Faktoren zu erhalten, wäre es denkbar, die versetzten, ehemaligen Funker mit Expositionszeit von mehr als 15 Jahren und Hörschäden zu untersuchen und zu befragen.

Der nächste wesentliche Punkt ist die Berücksichtigung von außerdienstlichen otologischen Belastungen, Prädispositionen oder Vorerkrankungen (Dogru, Tüz, Uygur, 2003, Plath, 1978, Pekkarinen, 1989, Nageris et al. 2007). Letztere wurden zwar in der Studienanamnese verneint, könnten aber tatsächlich einen erheblichen Teil zur Verursachung beigetragen haben. Naturgemäß ist es aber schwierig, diese eventuellen externen Ursachen zu ermitteln.



Führt man nun die bisherigen Erkenntnisse aus den Arbeitsplatz- und Hörverlustvermessungen zusammen, kann davon ausgegangen werden, dass unter den aktuellen Umständen keine Gefährdung für das Gehör der Männer und Frauen ausgeht. Da einige Funker schon seit 15 Jahren tätig sind, ohne Anzeichen einer Schädigung davongetragen zu haben (ISO 1999-1990, 1990), ist auch in der Zukunft davon auszugehen, dass nachfolgende Soldaten und zivile Angestellte keinen Schaden nehmen werden, sofern sich die aktuelle Belastungssituation nicht ändern wird.

## **5 Zusammenfassung**

Es gibt im internationalen Schrifttum bis jetzt noch keine umfangreichen Studien bezüglich der Lärmbelastung von hauptamtlichen Funkern. Zwar wurden interne Messungen an Kopfhörerarbeitsplätzen durchgeführt (Abschlussbericht WTD 91, 2006), jedoch ist eine arbeitsmedizinisch-wissenschaftliche Analyse des im Funkbereich hauptamtlich tätigen Personals noch nicht erfolgt.

Deswegen wurde in der vorliegenden Arbeit eine Funkereinheit der Bundeswehr im Großraum Berlin durch Befragung und Anfertigung von Audiogrammen untersucht. Außerdem erfolgte eine Begutachtung und Analyse der allgemeinen Gefährdungs- und Arbeitssituation.

Ziel der Arbeit war, neben der Feststellung der allgemeinen Gefährdungsbeurteilung, schwerpunktmäßig zu ermitteln, ob eine gehörgefährdende Lärmbelastung im Arbeitsbereich besteht. Im nächsten Schritt sollte festgestellt werden, ob im Falle einer solchen, eine messbare Hörminderung vorlag und diese in Zusammenhang zur dienstlichen Belastung gebracht werden konnte. Schließlich blieb zu eruieren, welche Lärmquellen existierten und welche Möglichkeiten zur Ausschaltung bestanden. Hierbei stellte sich heraus, dass die gesetzlichen Auflagen zum Arbeitsschutz erfüllt wurden und regelmäßige Kontrollen, auch in Form von Audiogrammen, durch Betriebsmediziner erfolgten. Abgesehen von wenigen allgemeinen, unterschiedlich leichten Beschwerden, die symptomatisch behandelt werden können und die sich teilweise damit begründen ließen, dass die Eingewöhnungsphase noch nicht abgeschlossen war, wurden im Wesentlichen die Geräuschemissionen beklagt. Deren Vermessung zeigte aber, dass unter Berücksichtigung der entsprechenden Richtlinien und Gesetzen, zurzeit keine gehörschädigenden Schalldruckpegel erreicht wurden. Zu bemerken ist aber, dass die durch entsprechende Bundeswehrrlasse vorgegebenen maximalen Schalldruckpegel für konzentrierte Arbeit bei der Messung der Beurteilungspegel deutlich überschritten wurden. Dies führt zwar nicht zu einer Gehörschädigung, aber möglicherweise zu einer Stressverursachung mit weiteren Folgebeschwerden unterschiedlichster Art.

Besonders zu beachten ist auch der Umstand der relativ intensiven Belastung durch Impulstöne. Bei der Funkübertragung ist es nicht ungewöhnlich, dass Impulstöne die eigentlichen Trägersignale ständig begleiten. Dies ist ein alltägliches Phänomen. Im Falle dieser Vermessungen zeigten sich keine bedenklichen Schalldruckpegel. Die Eigenart der Impulstöne im Funkverkehr schließt aber nicht aus, dass an anderen

Tagen unter Umständen gelegentlich doch bedenkliche Werte erreicht werden können. Hier sollten entsprechende elektronische Schutzfilter installiert werden, was laut Aussage von Bundeswehringenieuren technisch durchaus möglich ist.

Die Bewertung der audiometrischen Untersuchung zeigte, dass die Funker, welche länger als 15 Jahre exponiert waren, eine signifikante Hörschädigung davongetragen haben. Wie bei den meisten Begutachtungen von Lärmschädigungen konnte aber nicht bewiesen werden, ob der Funkdienst oder nicht dienstliche Einflüsse hierfür anzuschuldigen waren. Aufgrund der Befragung der länger dienenden Erfasser kann dies aber stark vermutet werden. Da bei den weniger als 15 Jahre Exponierten aber keine manifeste Hörschädigung vorlag, musste eine grundsätzliche Veränderung der Umstände stattgefunden haben. Die Ergebnisse der Anamneseerhebung legten nahe, dass die Benutzung der Kopfhörer hiermit in Zusammenhang stand. Eine genaue Ermittlung der auslösenden Umstände war aufgrund der verstrichenen Zeit nicht mehr möglich.

Nicht zu übersehen war der deutliche Leidensdruck vieler Funker in Bezug auf die Geräuschkulisse. Dieser Faktor muss auch in Zukunft weiter beobachtet werden. Es ist zu empfehlen, weitere stichpunktartige und unter Umständen mehrtägige, über das Jahr verteilte Messungen der Schalldruckpegel durchzuführen, um die jetzt ermittelten Daten über die Zeit zu bestätigen. Dies könnte vielleicht durch die wehrtechnischen Dienststellen der Bundeswehr erfolgen. Hierfür sollten allerdings unbedingt Real-Time-Messmethoden angewendet werden, um dynamische Bedingungen zu erzeugen.

Zur Reduktion der Schallemissionen steht an erster Stelle die Empfehlung zur Aufstockung des Personalbestandes oder Reduktion der Aufträge, um die Arbeits- und Lautstärkebelastung zu verringern. Die Bedienung von bis zu vier Funkgeräten mit mehreren zu überwachenden Frequenzen ist eindeutig zu viel. Ebenso sollte die Verkleinerung der Betriebsräume und deren sachgerechte Schallisolierung angestrebt werden, um somit die Emissionen, welche die benachbarten Funker stören, effektiv zu reduzieren. Im gleichen Zuge kann dann den Erfassern die Wahl der Kopfhörerbenutzung wieder freigestellt werden.

Es ist prognostizierbar, dass aufgrund des bisherigen Leidensdrucks der Soldaten und zivilen Mitarbeiter diese Verbesserungsmaßnahmen positiv aufgenommen werden würden und eine Steigerung der Zufriedenheit am Arbeitsplatz erreicht werden könnte.

## **6 Literaturverzeichnis**

1. Albegger, K.  
Unspezifische endonasale Entzündungen.  
In: Naumann, H.H. (Hrsg.). Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis.  
Thieme, Stuttgart-New York. 2, 185 (1992).
2. Arbeitsschutzgesetz.  
Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur  
Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei  
der Arbeit.  
(ArbSchG) v. (07.08.1996) BGBl, I . 1246 (1996).
3. Arbeitsschutzgesetz.  
Lärmbekämpfung im Betrieb-Leitfaden für den Arbeitnehmer vor Lärm am  
Arbeitsplatz.  
(ArbSchG). Aktuelle Ergänzung. 21 (2007).
4. Arnold, W., Ganzer, U.  
Checkliste HNO-Heilkunde.  
Thieme, Stuttgart-New York. 3,175-176 (1999).
5. Abschlußbericht WTD 91.  
Schallpegel an Sprechsätzen.  
Meppen. BMVg. (2006).
6. Bautechnische Prüfverordnung.  
(BauPrüfVO) Berlin. § 2, GVBL, 324 (2006).
7. Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für Arbeitsmedizinische  
Vorsorgeuntersuchungen G 20 Lärm.  
Gentner Verlag, Stuttgart. 2 (1981).
8. Blume, H.C., Karsten, H.  
Anforderungen aus dem neuen Arbeitsschutzgesetz.  
Weka Fachverlag für technische Führungskräfte, Augsburg. (1997).
9. Boenninghaus, L., Lenarz, T.  
HNO.  
Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.12, 22-24 (2005).
10. Bohne, B.A., Harding, G.W., Lee, S.C.  
Death pathways in noise-damaged outer cell hair cells.  
Hear. Res. 223:1-2, 61 - 70 (2007).
11. Bouccara, D., Ferrary, E., Sterkers, O.  
Effects des nuisances sonors sur l'oreille intere.  
Med. Scien. 22:11, 979 – 984 (2006).

12. Brusis, T.  
Begutachtung der Lärmschwerhörigkeit nach dem neuen Königsteiner Merkblatt, Teil 1: Audiometrie und Diagnose.  
HNO. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 47:140-153,142,152 (1999).
13. Cluff, G.L.  
Noise dose from impulse and continuous noise.  
Soun. Vibra. Acc. Publ. Bay Village, Ohio. 21 (1982).
14. Cuesdean, L., Tegăneanu S., Tuțu C., Raiciu M., Carp C., Coatu S.  
Study of cardiovascular and auditory pathophysiological implications in a group of operatives working in noisy industrial surroundings.  
Rev. Roum. Morphol. Embryol. Physiol. Psych. 14:53 - 61 (1977).
15. Dajani, H., Kunov, H., Seshagiri, B.  
Real-time method for the measurement of noise exposure from communication headsets.  
Appl. Accous. 49:3, 209 – 224 (1996).
16. Dancer, A.  
Schädigende Wirkung von Lärm bzw. Knallbelastungen auf die Cochlea des Meerschweinchens (Histologische Untersuchungen).  
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louise, Saint-Loise. ISL-R 103/80 (1980).
17. Dancer, A., Buck, K., Hamery, P., Parmentier, G.  
Hearing protection in the military environment.  
Nois. Heal. 2:5,1-15 (1999).
18. Dierhoff, H.G.  
Lärmschwerhörigkeit.  
G. Fischer, Jena-Stuttgart. 3 (1994).
19. DIN 4102, Teil 4  
Brandverhalten von Baustoffen.  
Deutsches Institut für Normung, Beuth, Berlin. (1994).
20. DIN EN ISO 11690-1, Teil 1  
Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten.  
Allg. Grundlagen. Deutsches Institut für Normung, Beuth, Berlin. Absch. 7.1 (1996).
21. DIN 45620  
Persönlicher Schallschutz.  
Deutsches Institut für Normung, VDI, Düsseldorf. (1985).
22. DIN 45645-2  
Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen.  
Deutsches Institut für Normung, Beuth, Berlin. (1997).

23. DIN 60651  
Schallpegelmesser.  
Deutsches Institut für Normung, VDI, Düsseldorf. (1995).
24. Dogru, H., Tüz, M., Uygur, K.  
Correlation between blood group and noise-induced hearing loss.  
Ac. Oto. Laryng. 123:8, 941-942 (2003).
25. Duus, P.  
Neurologisch-topische Diagnostik.  
Thieme, Stuttgart-New York. 5, 155 – 158 (1990).
26. Eichordnung.  
(BGBL I S. 1653), Änderung v. 2007, Beuth Verlag, Berlin. § 3, Anlage 21 (1992).
27. Ernst, A.  
Audiometrie und Funktionsdiagnostik.  
Chapmann & Hall, Weinheim. 10-11 (1998).
28. Eyshold, U.  
Anatomie und Physiologie des Ohres.  
In: Ganz, H. (Hrsg.). Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde.  
De Gruyter, Berlin-New York. 1-14 (1990).
29. Fan San (Fachanweisung Inspekteur Sanitätsdienst), Allg. Umdruck.  
Inspekteur des Sanitätsdienstes, K 95.01, A1,2, Inspekteur des Sanitätsdienstes  
(2004).
30. Feldmann, H.  
Das Gutachten des Hals-Nasen-Ohre-Arztes.  
Thieme, Stuttgart-New York, 5, 145 ff (2001).
31. Fleischer, G.  
Gut Hören heute und morgen.  
Median, Heidelberg, 19 – 25, (2000).
32. Graupe, D., Grosspietsch, J.K., Taylor, R.T.  
A self-adaptive noise filtering system. Part I: Overview and description + Part II:  
Implications for evaluation and test.  
Hear. Instr. 37, 9 + 10. (1986).
33. Gower, D.W., Casali, J.  
Speech intelligibility and protective effectiveness of selected active noise reduction  
and conventional communications headsets.  
Hum. Fact. 36:2, 350-67 (1994).

34. Habermann, J.  
Über die Schwerhörigkeit der Kesselschmiede.  
Arch. Ohrenheilk. 30:1 (1890).
35. Hellbrück, J.  
Hören-Physiologie, Psychologie und Pathologie.  
Hogrefe, Göttingen. 292 S. (1993).
36. Holmes, J.  
Noise exposure from communication headsets aboard HMS Illustrious.  
Institute of naval medicine technical report, Alverstoke, Gosport, UK.  
Heal. Hyg. 98028 (1998).
37. Hunter-Duvar, I., Suzuki, M., Mount, R.J.  
Anatomical changes in the organ of corti after acoustic overstimulation.  
In Hamernik R,P,D, Henderson R, Salvi, : New Perspectives on Noise Induced  
Hearing Loss.  
Raven, New York. 3 - 21 (1982 ).
38. ISO 1999-1990  
Bestimmung der berufsbedingten Lärmexposition und  
Einschätzung der lärmbedingten Hörschädigung.  
Beuth, Berlin. (1990) .
39. Jatho, K.  
Die Beziehung zwischen dem Lautstärkeausgleich und dem Energiespektrum der  
Sprachlaute. Ein Beitrag zur Frage der Fehlhörigkeit.  
Arch. Ohr Nas. Kehlk. Heilk., 170:487 - 497 (1957).
40. Jürgens, W.W.  
"Lärmschwerhörigkeit"- Aspekte aus arbeitsmedizinisch-gewerbeärztlicher Sicht.  
VIII. Lärmkonferenz Cottbus, 1 (2001).
41. Kanski, J.J.  
Klinische Ophthalmologie.  
Urban & Fischer, München-Jena. 5, 61 (2004).
42. Konietzko, Dupuis,  
Handbuch der Arbeitsmedizin.  
Ecomed, Landsberg. 3 IV - 3.7, 1 (1989).
43. Konopka, W., Olszewski, J., Pietkiewicz, P., Mielczarek, M.  
Impulse noise influence on hearing.  
Polsk. Merkur. Leka. 19:111, 296-297 (2005).
44. Kunov, H., Giguere, R., Simpson, R.  
Method for measurement noise exposure from communication headsets.  
Institute of biomedical engineering, University of Toronto, Toronto, Ontario,  
Proceedings of the annual meeting of the canadian acoustical association, Halifax,  
Canada. (1989).

45. Lenhardt, E., Laszig R.  
Praxis der Audiometrie.  
Thieme, Stuttgart-New York. 8, 4 - 5 (2001).
46. Lippert, H.  
Lehrbuch Anatomie.  
Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore. 2, 521 (1990).
47. Macrae J.H.  
Hearing conservation standards for occupational noise exposure of workers from  
headphones or insert earphones.  
Austr. Jour. Audiolog. 17:2, 107 – 114 (1995).
48. Manniene, O.  
Noise-induced hearing loss and blood pressure.  
Int. Arch. Occup. Environ. Health, 42:251 – 256 (1979).
49. Matschke, R.G.  
Lärmschwerhörigkeitsrisiko durch Sprechfunkverkehr ? Audiologische Befunde bei  
Hubschrauberbesatzungen und Piloten von Propellerflugzeugen.  
HNO 35:456/502 (1987).
50. Matschke, R.G.  
Lärmschutz und Sprechfunkverkehr-ein wenig beachteter Widerspruch.  
Aud. Akus. Median Verlag, Heidelberg. 5:166- 176 (1988).
51. Maue, J.  
Impulslärm an Arbeitsplätzen-der energieeäquivalente Dauerschallpegel als  
Beurteilungsrisiko für das Hörschadensrisiko.  
Dissertation am FB Sicherheitstechnik, Bergische Universität/Gesamthochschule  
Wuppertal, Veröffentlicht als BIA-Report, Berufsgenossenschaftliches Institut für  
Arbeitssicherheit. (1988).
52. Meyer zu Gottesberg, A.  
Die Pathogenese der C5 – Senke.  
Acta oto.laryngo. (Stockh.), 51:250 (1960).
53. Ministeriumsblatt des BMVG, 9,  
Bundesverteidigungsministerium,151ff (1984).
54. MPG, Gesetz über Medizinprodukte.  
(BGBL I), Änderung 2007, § 14, § 38,2, Internetrecherche:  
[www.bundesrechts.juris.de/mpg/index.html](http://www.bundesrechts.juris.de/mpg/index.html) (1994).
55. Mummenthaler, M., Mattle, H.  
Neurologie.  
Thieme, Stuttgart-New York. 11, 820 (2002).



56. Nageris, B.I., Raveh, E., Zilberberg, M., Aattias, J.  
Asymetry in noise-induced hearing loss:relevance of acoustic reflex and left or right handedness.  
Oto. Neurotol. 28:4, 434-437 (2007).
57. Negri, B., Schorn, K.  
Lärmschwerhörigkeit und Tinnitus.  
HNO, Springer, 39:192-194 (1991).
58. Niemeyer, W.  
Schwerhörigkeit durch Lärm.  
HNO Praxis heute, Springer, Berlin-Heidelberg. 18, 16 - 19, 25 (1998).
59. Niemeyer, W.  
ABC für Hörbehinderte, Thieme Ratgeber für Gesunde und Kranke.  
Thieme, Stuttgart-New York. (1972).
60. Orembowski, N.S.  
Die otiatrische Untersuchung der Kesselschmiede in den Hauptwerkstätten der Transkaukasischen Eisenbahn.  
Act. Oto Laryng. Stockholm. 10:197 (1926).
61. Patel, J.A., Broughton, K.  
Assessment of the noise exposure of call center operators.  
Ann. Occup. Hyg. 46:8, 653–661 (2002).
62. Pawlaczyk-Luszczynska, M., Dudarewicz A., Bak M. et al.  
Temporary changes in hearing after exposure to shooting noise.  
Int. Jour. Occup. Med. Environ. Health, 17:2, 285-293 (2004).
63. Pekkarinen, J.  
Exposure to impulse noise, hearing protection and combined risk factors in the developement of sensory neural hearing loss.  
Publications of the University of Kuopi, Department of enviromental hygiene, University of Kuopi, Finland, 49 – 52 (1989).
64. Pekkarinen, J., Starck, J.  
Digital high-speed sampling of combined exposure to noise and vibration.  
Work and Environ. Heal. 12:327-331 (1986).
65. Persönliches Gespräch  
(2007).
66. Pfander, F.  
Akustische Belastungen der Bundeswehrmusiker und ihre arbeitsmedizinische Beurteilung.  
Wehrmed. Mschr. 8:329-331 (1985).

67. Pfander, F.  
Das Schalltrauma.  
Schriftenr. Präv. Med. - PM 1, BMVg, Bonn. (1994).
68. Piekarski, C., Zerlett, G.  
Somatisierungen im Magen-Darm-Trakt.  
In: Classen, M., Diehl, V., Kochsiek, K. (Hrsg.).  
Innere Medizin.  
Urban & Schwarzenberg, München. 874 – 875 (1991).
69. Pilgramm, M.  
Knalleffekt.  
Aufklärungsfilm der Bundeswehr, BMVg, Bonn. (1983).
70. Plath, P.  
Die gutachterliche Beurteilung der Lärmschwerhörigkeit bei gleichzeitigem  
Vorliegen anderer Gehörerkrankungen.  
Vortrag auf dem Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-  
Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie, Hamburg, in Laryng.Rhinol., 57:1058-1065  
(1978).
71. Price, G.R.  
Loss of auditory sensitivity following exposure to spectrally narrow impulses.  
J. Acous. Soc. Am. 66/2:456 – 465 (1979).
72. Ramazzini, B.  
"De morbis artefizium diatriba"  
aus dem Lateinischen übersetzt v. P. Goldmann, Königshausen & Neumann,  
Würzburg. (1998).
73. Ribera, E., Mozo, T., Mason, T., Murphy, B.  
Communication survey of CH – 47D crewmember.  
Mil. Med. 161 (1996).
74. RICHTLINIE 2003/10 EG  
über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der  
Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm),  
Art. 2,3,5,10 (2003).
75. Romert, W., Ruthenfranz, J.  
Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an  
unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen.  
Bundesmin. f. Arb. Sozial. Bonn. (1975)
76. Romert, W., Ruthenfranz, J.  
Praktische Arbeitsphysiologie.  
Thieme, Stuttgart-New York. (1983)

77. Rüdi, L.  
Mensch & Umwelt.  
Dok. Geigy, Basel. 1:22 (1957).
78. Schimanski, W.  
Neue Beurteilung der Lärmschwerhörigkeit, Teil II.  
Die Soz. Vers. Heidelberg. 5 (1981).
79. Schwarze, S., Nothbohm, G., Gärtner, C.  
Hochtonaudiometrie und lärmbedingter Hörschaden.  
Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin,  
Dortmund-Berlin-Dresden. 10 (2005) .
80. Schwetz, F.  
Die 1,5 kHz-Hörschwelle als Gradmesser der Lärmschwerhörigkeit.  
Laryng. Rhinol., Thieme, Stuttgart-New York. 57:1052 – 1058 (1978).
81. Spreng, M.  
Auswirkungen des Lärms auf das Hören.  
Teil 1 u.2, Aud. Ak. 21:66-74, 94 -113 (1982).
82. Stalhoff, R.T.  
Hörverlust bei Instrumentalisten.  
In: Blum, J. (Hrsg.). Medizinische Probleme bei Musikern.  
Thieme, Stuttgart-New York. 246-255 (1995).
83. Starck, J., Toppila, E., Pyykkö I.  
Impulse noise and risk criteria.  
Noise & Health, 5:20, 63 – 73 (2003).
84. Stengel, C.  
Wehrdienst und Ohr.  
Z. Laryng. Rhinol., 73:269 (1958).
85. Steurer, O.  
Sanitätsberichte des Reichsheeres und der kaiserlichen Armee v. 1908 - 1913 und  
von 1922 – 1931.  
HNO 2:138 (1950).
86. Unfallverhütungsvorschrift „LÄRM“.  
Gesetzliche Unfallversicherungsträger, GUV – B , § 2, Abs. 2, 1997 (2005).
87. Van Moorhem, W., Woo, K.S., Liu, S., Golias E.  
Development and operation of a system to monitor occupational noise exposure  
due to wearing a headset.  
Appl. Occup. Environ. Hyg, 11 :4 261 – 265 (1996).
88. VBG 100, „Arbeitsmedizinische Vorsorge“.  
Hauptverband der beruflichen Berufsgenossenschaften, Gentner, Stuttgart. § 3  
(1993).

89. VBG 121, „Lärm“.  
Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sammlung der Einzel-Unfallverhütungsvorschriften der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Carl Heymanns, Köln. § 8 (1990).
90. VDI RICHTLINIEN 2560.  
Persönlicher Schallschutz.  
Beuth, Berlin. (1993).
91. VDI RICHTLINIEN 2058.  
Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung.  
Beuth, Berlin. Blatt 2, 3 (1988).
92. VERORDNUNG ZUR UMSETZUNG DER EG-RICHTLINIEN 2002/44/EG  
und 2003/10/EG zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und  
Vibrationen vom 6. März 2007.  
BGBl. I Nr. 8, 261 (2007).
93. VMBL, VERTEIDIGUNGSMINISTERIUMSBLATT NR. 8.  
Lärmschutz in der Bundeswehr, Neufassung,  
Kp. 1.4 – 1.4.13, 116 – 117; Kp. 1.5, 117; Kp. 2.1.2, 117; Kp.2.2,2.5,118 (1993).
94. Voigt, P., Godenhielm B., Östlund.  
Impulse noise-measurement and assesment ot the risk of noise induced hearing  
loss.  
Scand. Aud. Suppl. 12:319-325 (1980).
95. Walker, J.G.  
Temporary threshold shift from impulse noise,  
Ann. Occup. Hyg. 13:51-58, Pergamon Press (1970).
96. Weerda, H.  
Entzündungen des äußeren Ohres.  
In: Naumann, H.H. (Hrsg.). Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis.  
Thieme, Stuttgart-New York. 1, 500 (1993).
97. Weissbuch BMVg.  
Bundesverteidigungsministerium.  
Internetrecherche: [www.BMVG.de](http://www.BMVG.de), Kap.7 (2007).
98. Welleschik, B., Raber, A.  
Einfluß von Expositionszeit und Alter auf den lärmbedingten Hörverlust.  
Springer, Laryng. Rhinol. 57:1037-1048 (1978).
99. Williams, W., Presbury, J.  
Observations of noise exposure through the use of headphones by radio  
announcers,  
Noise & health, 5:19, 69 – 73 (2003).

100. Zenner, H.P.  
Hals - Nasen – Ohrenheilkunde.  
Chapman & Hall, Weinheim. 416 (1997).
101. Zenner, H.P., Struwe, V., Schuschke, et al.  
HNO.  
Springer, Stuttgart. 47:236 – 248 (1999).
102. Zera, J., Brammer, A.J., Pan, G.J.  
Comparison between subjective and objective measures of active hearing protector and communication headset attenuation.  
Acoust. Soc. Am., 101,6:3486-3497 (1997).
103. Zhao, Y.M., Chen, S.S., Cheng, X.R., Li Y.Q.  
Adjustment of dose-response relationship of industrial impulse noise induced high frequency hearing loss with different exchange rate.  
Zonghua yi xue za zhi, Peking. 86:1, 48 – 51 (2006).

## 7 Abbildungsverzeichnis

- ABBILDUNG 1: Schematische Darstellung des Cortiorgans
- ABBILDUNG 2: Darstellung einer Innenohrhochtonsenke
- ABBILDUNG 3: Darstellung eines Innenohrhochtonabfalls
- ABBILDUNG 4: Grafik Gegenüberstellung Expositionszeit und Probandenanzahl
- ABBILDUNG 5: Aussenansicht Betriebsraum, sog. "Cages", (BMVg)
- ABBILDUNG 6: Arbeitsplätze, (BMVg)
- ABBILDUNG 7: Messplatz, eigene Aufnahme
- ABBILDUNG 8: Messanordnung Kunstkopfmessung, eigene Aufnahme
- ABBILDUNG 9: Aufzeichnung der Raummessung in dB (A)
- ABBILDUNG 10: Aufzeichnung der Messung vor dem Funkgerät in dB (A)
- ABBILDUNG 11: Aufzeichnung der Messung Sprechfunk unter Kopfhörer in dB(A)
- ABBILDUNG 12: Aufzeichnung der Messung Tastfunk unter Kopfhörer in dB(A)
- ABBILDUNG 13: Gegenüberstellung Frequenzspektrum Sprech/Tastfunk
- ABBILDUNG 14: Gegenüberstellung gesamtes Probandenkollektiv und Anteil  
Gehörgeschädigter
- ABBILDUNG 15: Darstellung Regression maximaler Hörverlust gegen Expositions-  
zeit gesamtes Probandenkollektiv (BW Universität Hamburg, Fak. f.  
Wirtschafts- u. Sozialwissenschaften)
- ABBILDUNG 16: Darstellung Regression maximaler Hörverlust gegen Expositions-  
zeit > 15 Jahre (BW Universität Hamburg, Fak. f.  
Wirtschafts- u. Sozialwissenschaften)

## **8 Tabellenverzeichnis**

TABELLE 1: Subjektives Belastungsempfinden des gesamten Probandenkollektivs

TABELLE 2: Subjektives Belastungsempfinden aufgeschlüsselt nach Verwendung

## **9 Danksagung**

Für die freundliche Überlassung des Themas und der stets raschen und hilfreichen Unterstützung danke ich Herrn Professor Dr. Dr. h.c. D. Groneberg.

Dem Sanitätskommando III danke ich für die Genehmigung zur Durchführung der Studie.

Herrn Dr. D. Steuer von der Bundeswehr Universität Hamburg danke ich für die Unterstützung bei der statistischen Bearbeitung und grafischen Darstellung der Ergebnisse.

Herrn Ing. O. Tech von der Wehrtechnischen Dienststelle 91 sowie Herrn Oberstarzt Dr. J. Binnewies und Herrn Oberfeldarzt Dr. M. Schmitz-Rode vom Institut für den Medizinischen Arbeits- und Umweltschutz der Bundeswehr danke ich für die Verfügungsstellung der Messapparaturen und Hilfe bei der Auswertung der Daten.

Mein besonderer Dank gilt Frau K. Neumann für die Hilfe beim Schreiben und Korrekturlesen der Arbeit.

Mein allerherzlichster Dank gilt meiner Frau, die mir durch Ihre Geduld, Nachsicht und aufmunternde Unterstützung eine unverzichtbare Grundlage zur Durchführung der Arbeit geschaffen hat.



## **10 Lebenslauf**

**Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.**



## **11 Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit**

„Ich, Tariq Plöger, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: Arbeitsmedizinische Analyse der gesundheitlichen Gefährdung von Funkern unter besonderer Berücksichtigung der otologischen Belastung, selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

.....  
Datum

.....  
Unterschrift